

第一章

计算机系统概论

Computer Abstractions



合肥工业大学
计算机与信息学院
阙夏

提 纲



1

概 述

2

计算机系统的硬件结构

3

中央处理器 (CPU)

4

控 制 单 元 (CU)

本部分课程内容概貌



- ❖ 基本部件的结构和组织方式
- ❖ 基本部件和单元的设计思想
- ❖ 基本运算的操作原理
- ❖ 计算机组成的一般原理，不依托具体的机型

课程学习目的



- ❖ 深入理解现代计算机的体系结构、基本问题,工程中的权衡
- ❖ 怎样设计计算机系统
- ❖ 理解计算机系统的工作方式是什么以及各种操作为什么这样执行



❖ 计算机组成原理考查目标

- 理解单处理器计算机系统中各部件的内部工作原理、组成结构以及相互连接方式，具有完整的计算机系统的整机概念。
- 理解计算机系统层次化结构概念，熟悉硬件与软件之间的界面，掌握指令集体系结构的基本知识和基本实现方法。
- 能够运用计算机组成的基本原理和基本方法，对有关计算机硬件系统中的理论和实际问题进行计算、分析，并能对一些基本部件进行简单设计。

课程目标对毕业要求的支撑



本课程面向系统能力的培养

- ❖ 课程目标一：理解计算机系统中各部件的基本工作原理、组成结构以及相互连接方式，掌握计算机系统设计的基本原理与方法，并能够运用相关的理论与方法，对硬件系统设计中的复杂问题给出合理的解决方案，并且能够综合考虑性能成本等因素。
- ❖ （GR3）设计/开发解决方案：能够设计针对复杂计算机工程问题的解决方案，设计满足特定需求的系统、单元（部件）或开发流程，并能够在设计环节中体现创新意识，综合考虑社会、健康、安全、法律、文化以及环境等因素。
 - 3.1 掌握计算机科学与技术应用工程问题的基本设计原理与方法，了解影响设计目标和技术方案的各种因素，能够针对相关复杂计算机工程问题设计合理的解决方案。

课程目标对毕业要求的支撑



本课程面向系统能力的培养

- ❖ 课程目标二：理解计算机系统各个部件的工作方式，深入理解计算机系统层次化结构的概念，掌握指令集体系结构的基本知识和基本实现方法，建立计算机系统的整机概念。
- ❖ （GR4）研究：能够基于计算机科学原理并采用专业科学方法对复杂计算机工程问题进行研究，包括前期求证、设计实验、分析与解释数据，并通过信息综合得到合理有效的结论。
 - 能够基于计算机科学原理，通过文献研究或相关方法，对复杂计算机工程问题进行调研和分析。

课程目标对毕业要求的支撑



本课程面向系统能力的培养

- ❖ 课程目标三：能够运用硬件描述语言、**EDA**软件和硬件开发板来完成实验，能够对实验结果进行分析。
- ❖ **（GR5）使用现代工具**：能够针对复杂计算机工程问题，开发、选择与使用恰当的技术、资源、现代工程工具和信息技术工具，包括对复杂计算机工程问题的预测与模拟，并能够理解其局限性。
 - 5.2能够选择与使用恰当的程序设计方法、环境与工具，包括软件开发集成环境、实验数据分析工具、模拟与仿真工具等；具有计算思维能力，具有程序设计与实现能力。

学习要求



❖ 平时成绩

(包括实验、作业、测验、出勤、专题讨论)

❖ 期末考试成绩

❖ 每一章的学习目标将在每章学习前说明，要求同学们在学习过程中能够针对每个知识点认真总结。

学习方法



❖ 博学

❖ 审问

❖ 慎思

❖ 明辨

❖ 笃行

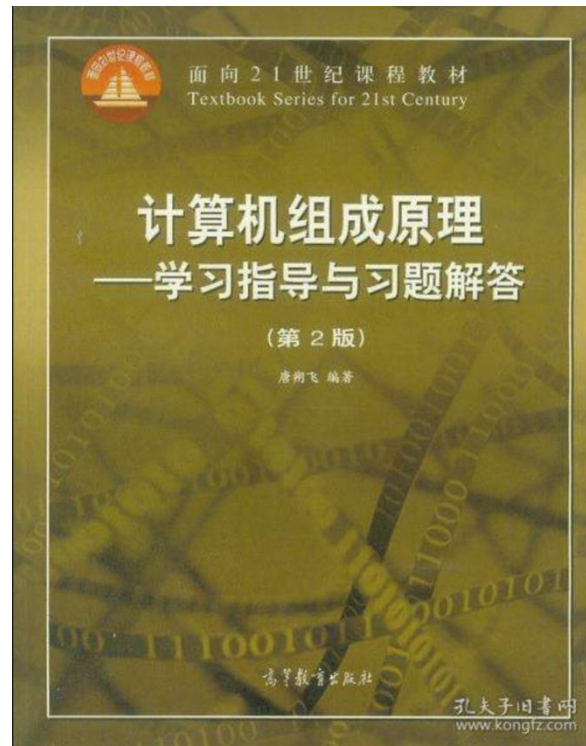
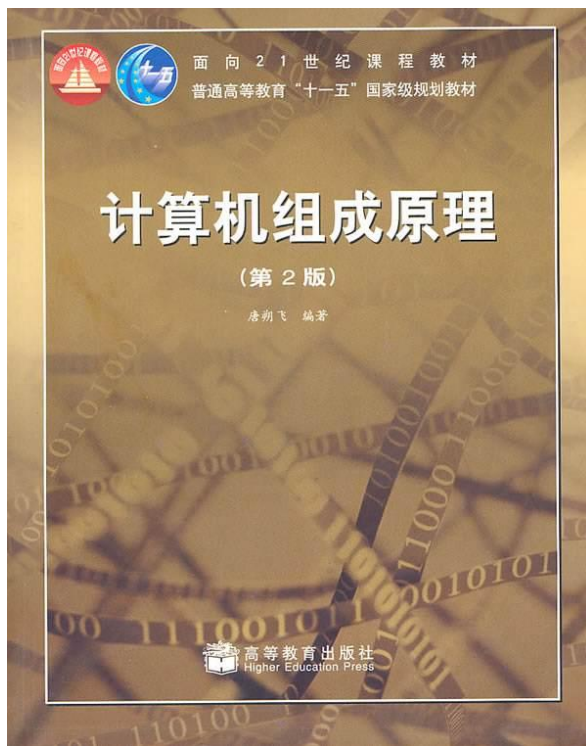
阙夏 QQ:17634892

群号：560810873



2021宣城计算机组成原理
扫一扫二维码，加入群聊。

教材和辅助练习



- 《计算机组成原理》（第2版）唐朔飞 高等教育出版社
- 《计算机组成原理--学习指导与习题解答》唐朔飞 高等教育出版社



- 《Computer Organization and Design hardware and software interface》, **Patterson** and Hennessy, 4th Edition, Morgan Kaufmann Pub.
 - 中文版: 《计算机组成和设计: 硬件/软件接口 (第4版或第5版) 》
(美) **帕特森**、亨尼西 著
- 《Computer Systems A Programmer's Perspective Randal》 E. Bryant David O'Hallaron, Prentice-Hall Internation Inc.
 - 中文译本: 《深入理解计算机系统》
- 《计算机组成与系统结构》袁春风编著 清华大学出版社
- 《计算机系统基础》袁春风编著 机械工业出版社



约翰·亨尼西 (John Hennessy)和大卫·帕特森(David Patterson)

主要成就



- ❖ 美国科学家约翰·亨尼西和大卫·帕特森获得2017年度图灵奖，以表彰二人。
- ❖ 开创了一种系统的、可量化的方法用以设计和评价计算机体系架构，并对精简指令集（RISC）微处理器行业产生深远影响。
- ❖ 《计算机体系结构： 量化研究方法》《Computer Architecture: A Quantitative Approach》

2017年图灵奖获得者



第一章 计算机系统概论



1.1 计算机系统概述

1.2 计算机的基本组成

1.3 计算机性能评价



❖ 计算机发展历程（第二章）

❖ 计算机系统的层次结构

1. 计算机硬件的基本组成
2. 计算机软件的分类
3. 计算机的工作过程

❖ 计算机性能指标

吞吐量；响应时间；CPU时钟周期；主频；CPI；
CPU执行时间；MIPS；MFLOPS

大纲要求



计算机组成原理

[考查目标]

1. 理解单处理器计算机系统中各部件的内部工作原理、组成结构以及相互连接方式,具有完整的计算机系统的整机概念。
2. 理解计算机系统层次化结构概念,熟悉硬件与软件之间的界面,掌握指令集体系结构的基本知识和基本实现方法。
3. 能够综合运用计算机组成的基本原理和基本方法,对有关计算机硬件系统中的理论和实际问题进行计算、分析,对一些基本部件进行简单设计;并能对高级程序设计语言(如 C 语言)中的相关问题进行分析。

一、计算机系统概述

(一) 计算机系统层次结构

1. 计算机系统的基本组成
2. 计算机硬件的基本组成
3. 计算机软件和硬件的关系
4. 计算机系统的工作过程

(二) 计算机性能指标

吞吐量、响应时间, CPU 时钟周期、主频、CPI、CPU 执行时间, MIPS、MFLOPS、GFLOPS、TFLOPS、PFLOPS、EFLOPS、ZFLOPS。

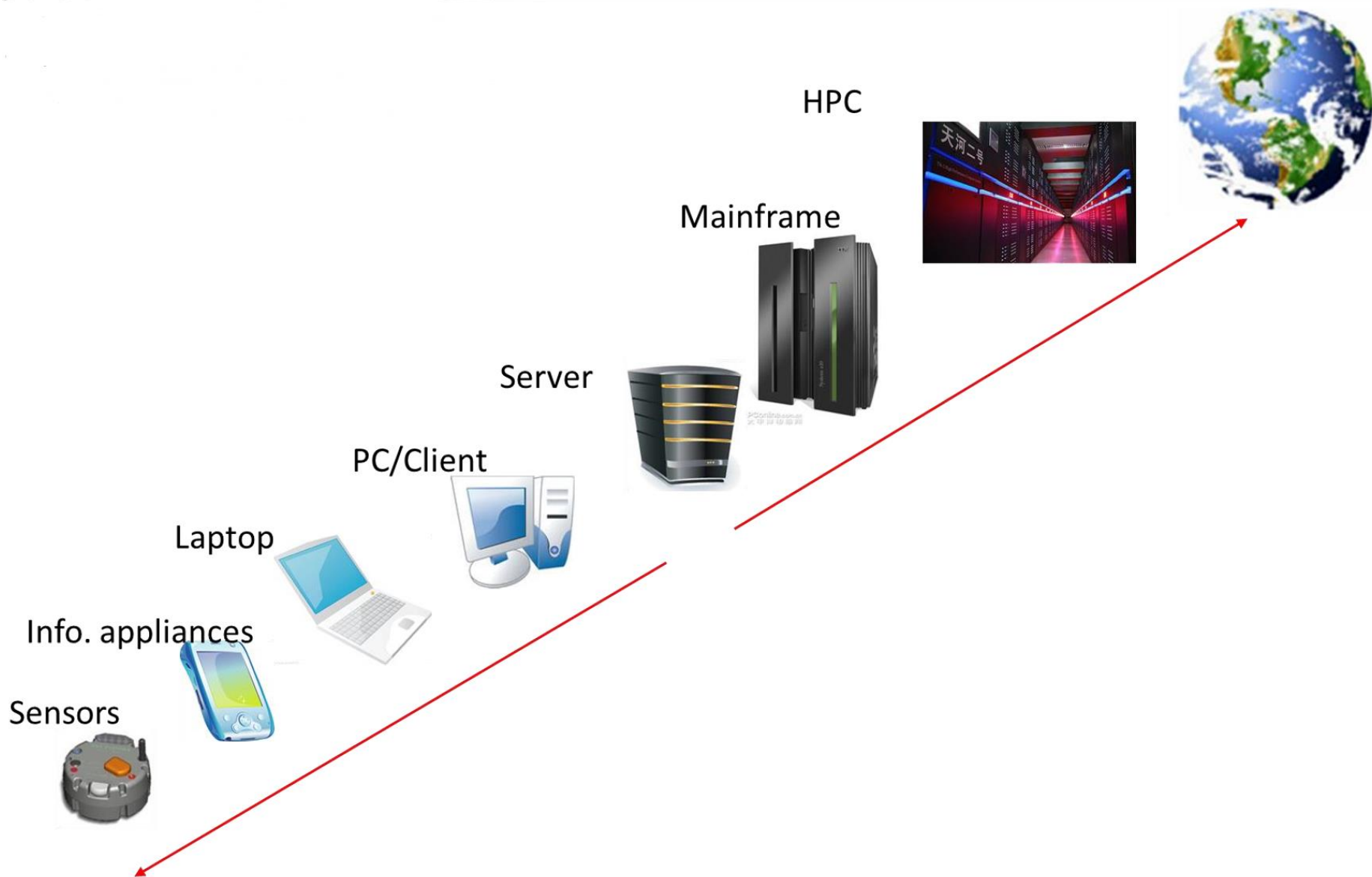


硕士研究生招生专业（含专业学位）列表及初试要求

学科专业代码（工程类别、领域码）及名称	研究方向	招生计划	计划分配	考试科目	备 注
▲081000 信息与通信工程	01.智能信息处理 02.数字信号处理与分析技术 03.空间信息技术 04.无线通信系统及关键技术 05.新体制雷达系统及关键技术	全日制 40 人	1.学院 30 人 2.智能院 10 人	① 101 思想政治理论 ② 201 英语一 ③ 301 数学一 ④ 833 信号分析与处理综合	
▲081200 计算机科学与技术	01.数字媒体技术 02.数据挖掘与智能计算 03.情感计算与交互 04.计算机图形学 05.分布式实时系统 06.计算机网络与信息安全	全日制 63 人	1.学院 46 人 2.智能院 15 人 3.工研院 2 人	① 101 思想政治理论 ② 201 英语一或 203 日语 ③ 301 数学一 ④ 850 计算机科学与技术学科专业基础综合	
▲083500 软件工程	01.面向服务的软件工程方法 02.软件交互技术 03.软件质量保证与可信计算 04.嵌入式软件理论与技术 05.多媒体信息系统	全日制 8 人	1.学院 5 人 2.智能院 3 人	① 101 思想政治理论 ② 201 英语一 ③ 302 数学二 ④ 848 软件工程学科专业基础综合	

学科专业代码（工程类别、领域码）及名称	研究方向	招生计划	计划分配	考试科目	备 注
085400 电子信息（专业学位） （计算机与信息学院）	01.电子与通信工程 02.计算机技术 03.软件工程	全日制 126 人	1.学院 88 人 2.智能院 37 人 3.工研院 1 人	① 101 思想政治理论 ② 204 英语二 ③ 301 数学一 ④ 833 信号分析与处理综合或 850 计算机科学与技术学科专业基础综合或 848 软件工程学科专业基础综合	
	04.不区分方向	非全日制 50 人			

现代计算机的多态性



1.1 计算机系统简介



1.1.1 计算机软硬件的概念

一. 计算机系统

计算机系统

硬件

计算机中电子线路和物理装置
如主机、外设等

软件

计算机中全部程序和文件

1.1 计算机系统简介



软件

系统软件 用于管理整个计算机系统的软件

操作系统

语言处理程序

服务程序

数据库管理系统 (DBMS)

网络软件

应用软件 根据任务需要编制的各种程序



❖ System software(系统软件) - 简化编程过程, 使硬件资源被有效利用

- 操作系统 (Operating System) : 硬件资源管理, 用户接口
- 语言处理系统: 翻译程序+ Linker, Debug, Loader, etc ...
 - 翻译程序(Translator)有三类:

汇编程序(Assembler): 汇编语言源程序→机器语言目标程序

编译程序(Compiler): 高级语言源程序→汇编/机器语言目标程序

解释程序(Interpreter): 将高级语言语句逐条翻译成机器指令并立即执行,不生成目标文件。

- 其他实用程序: 如: 数据库管理系统、磁盘碎片整理程序、备份程序等

❖ Application software(应用软件) - 解决具体应用问题/完成具体应用任务

- 各类媒体处理程序: Word/ Image/ Graphics/...
- 管理信息系统 (MIS)
- 数据库系统
- Game, ...

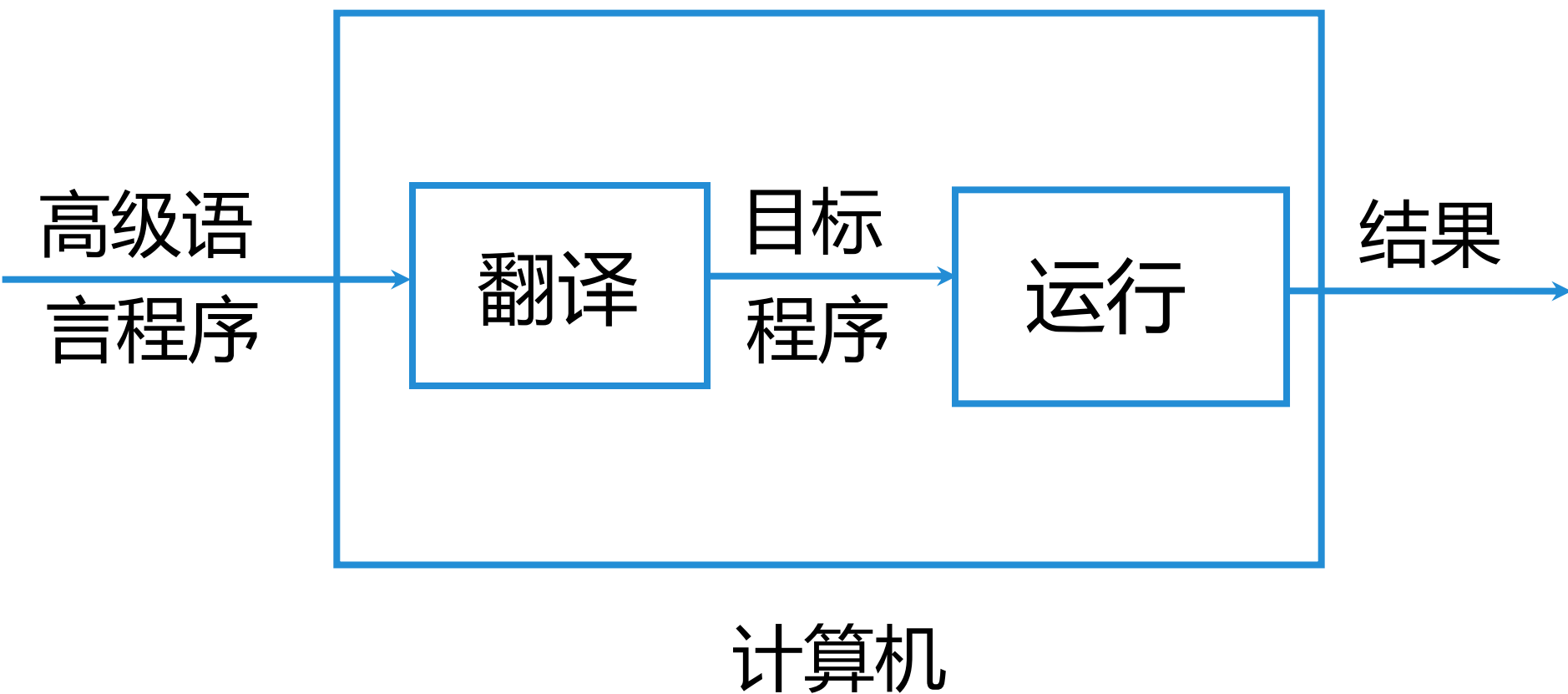
1.1 计算机系统简介



二. 计算机语言

- 1) 机器语言：二进制代码表示的计算机语言，可以**直接执行**。
- 2) 汇编语言：用助记符（如ADD、SUB、...）编写的语言，需要通过**汇编程序**翻译成目标程序后才执行。
- 3) 高级语言：如PASCAL, C, JAVA等，便于编写、阅读，接近自然语言，提高了软件的产量，便于移植，独立于硬件环境。

计算机的解题过程



翻译方式有两种：



- ❖ 编译：使用编译程序把高级语言的源程序翻译成机器代码的目标程序，并以文件形式保留，然后执行。
 - C, PASCAL
 - 大多数编译程序直接产生机器语言的目标代码，形成可执行的目标文件，少数先产生汇编语言一级的符号代码文件，然后再调用汇编程序进行翻译加工处理，最后产生可执行的机器语言目标文件。
- ❖ 解释：使用解释程序，将源程序的一条语句翻译成对应机器语言的一条语句，并立即执行这条语句，接着再翻译源程序的下一条语句，并立即执行，并不形成目标程序，如此重复，直至完成源程序的全部翻译任务
 - JAVA
 - BASIC的翻译有解释和编译两种方式。

下列_____不属于系统程序。

- ☒ A 数据库系统
- ☐ B 操作系统
- ☐ C 编译程序
- ☐ D 汇编程序

提交

三. 硬件与软件的关系



■ 相互关联：

- 硬件系统在最内层，是计算机系统的基础、核心
- 系统软件为用户提供一个基本操作界面
- 应用软件在最外层，为用户提供解决具体问题应用系统界面

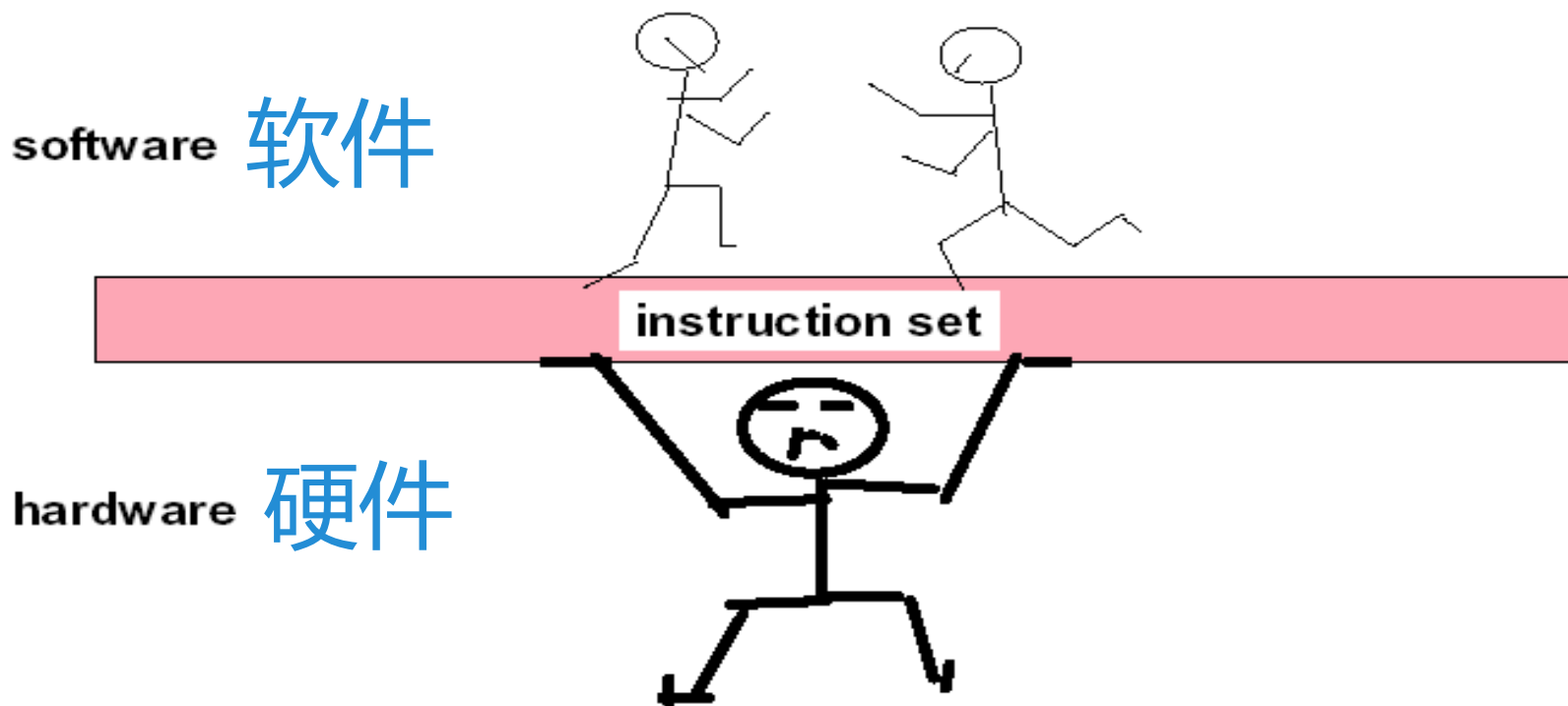
■ 相互转化、互相渗透、互相融合

- 软硬件没有一条明确的分界线。
 - 硬件软化，可以增强系统的功能和适应性
 - 软件硬化，可以显著降低软件在时间上的开销

■ 固件 (Firmware)：具有软件特性的硬件

- 硬件的快速性
- 软件的灵活性

Hardware/Software Interface (界面)



软件和硬件的界面： ISA (Instruction Set Architecture)

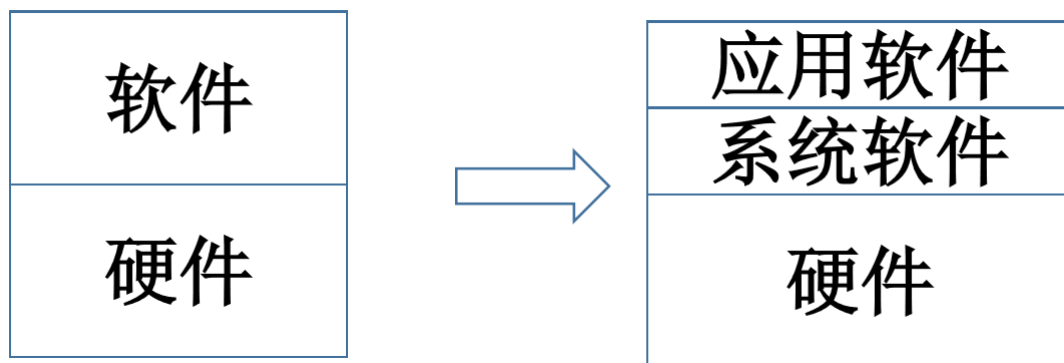
指令集体系结构

机器语言由指令代码构成，能被硬件直接执行。

1.1.2 计算机系统的层次结构



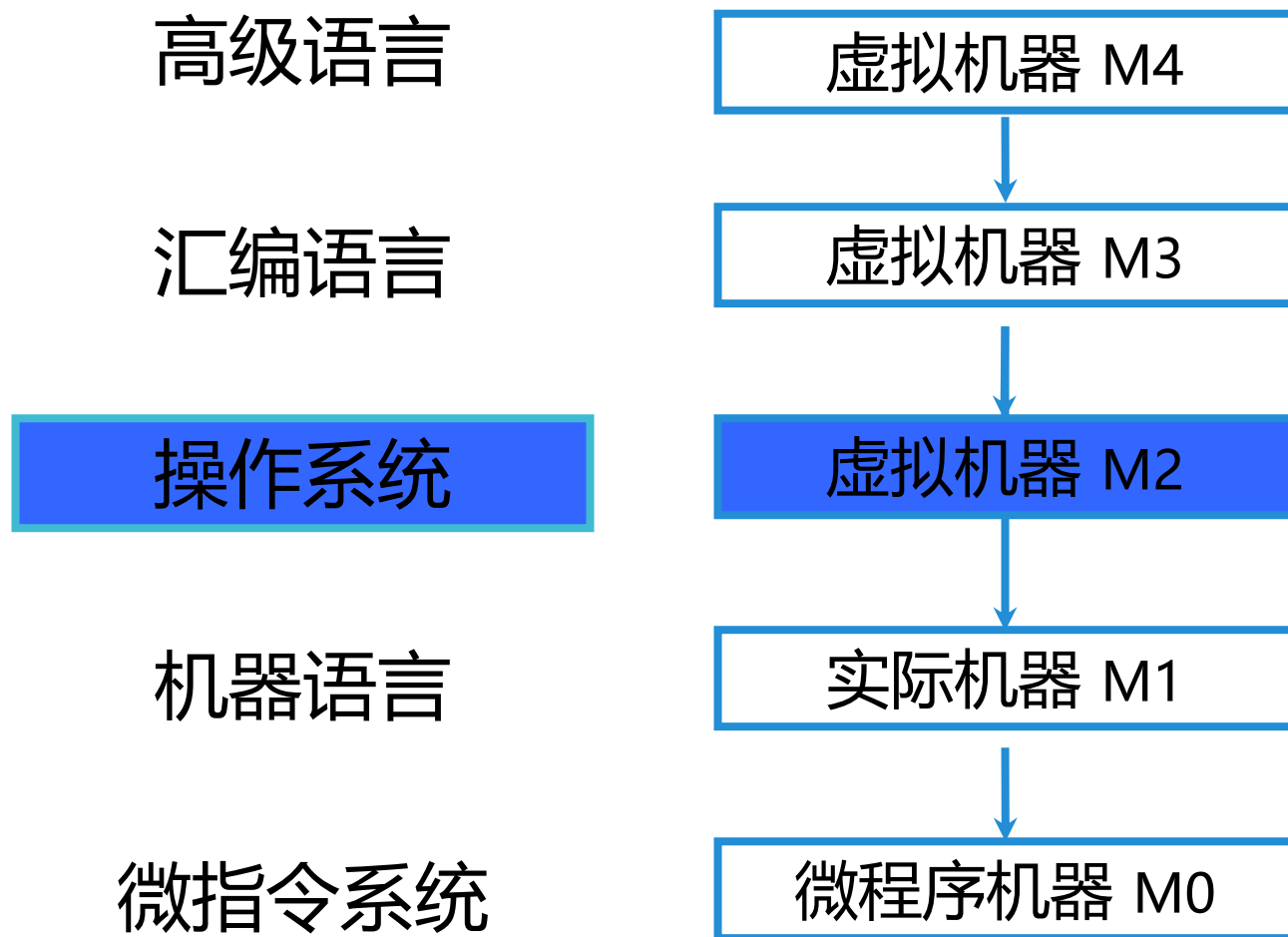
简单的分层



1.1.2 计算机系统的层次结构



二、计算机系统的层次结构



1.1.2 计算机系统的层次结构



二、计算机系统的层次结构

- ❖ 实际机器：指由**硬件**或**固件**实现的机器。
- ❖ 虚拟机器：指以**软件**为主实现的机器。
 - 虚拟机器只对该级的观察者存在，某一级观察者只需通过**该级的语言**来了解和使用计算机，不必关心下级是如何工作和实现的。
 - 高级语言级的用户可以不了解机器的具体组成，不熟悉指令系统，直接用所指定的语言描述所要解决的问题。

二、计算机系统的层次结构



软件

虚拟机 M4

用编译程序翻译成汇编语言程序

虚拟机 M3

用汇编程序翻译成机器语言程序

虚拟机 M2

用机器语言解释操作系统

硬件

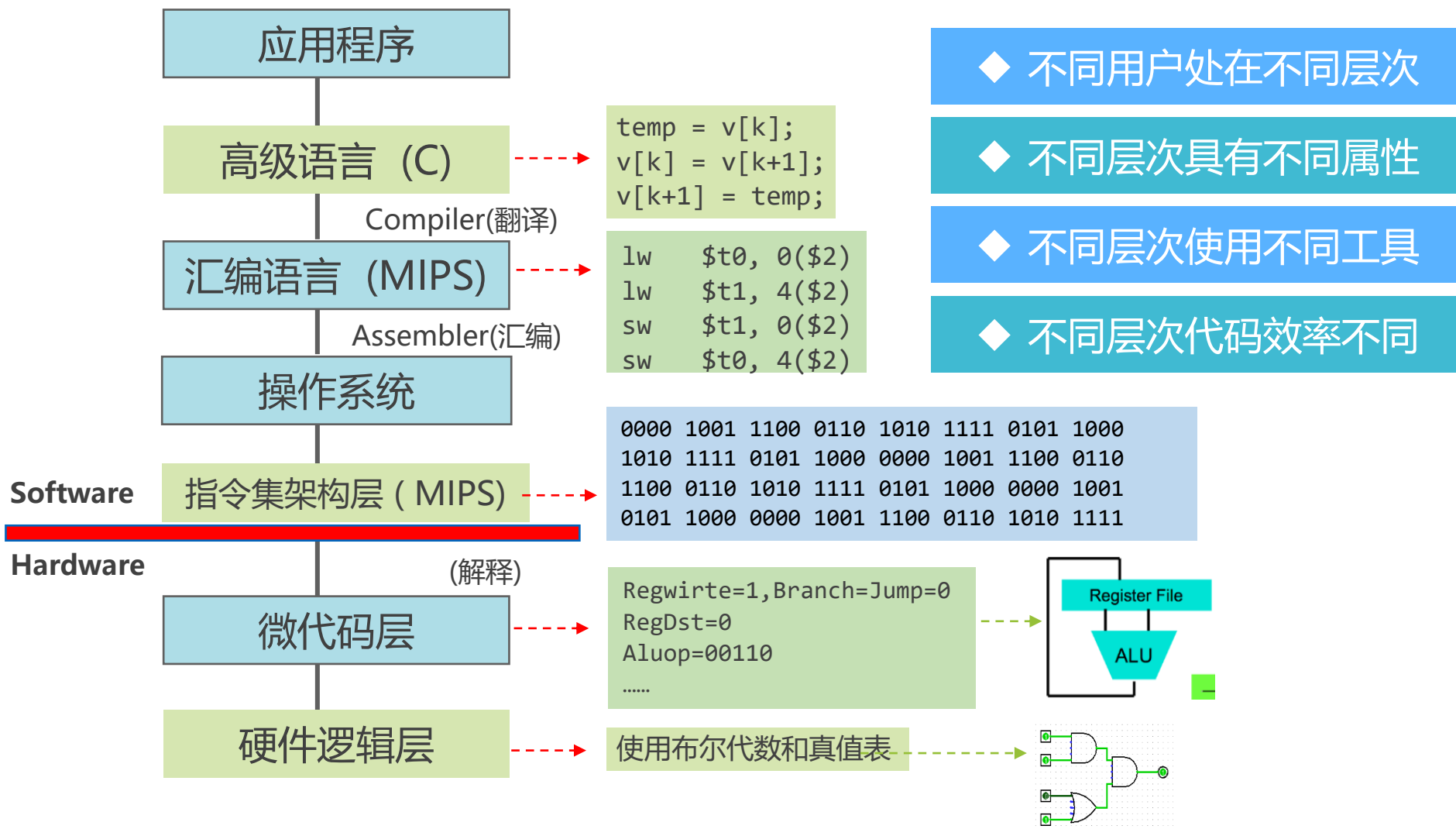
实际机器 M1

用微指令解释机器指令

微程序机器 M0

由硬件直接执行微指令

二、计算机系统的层次结构



二、计算机系统的层次结构

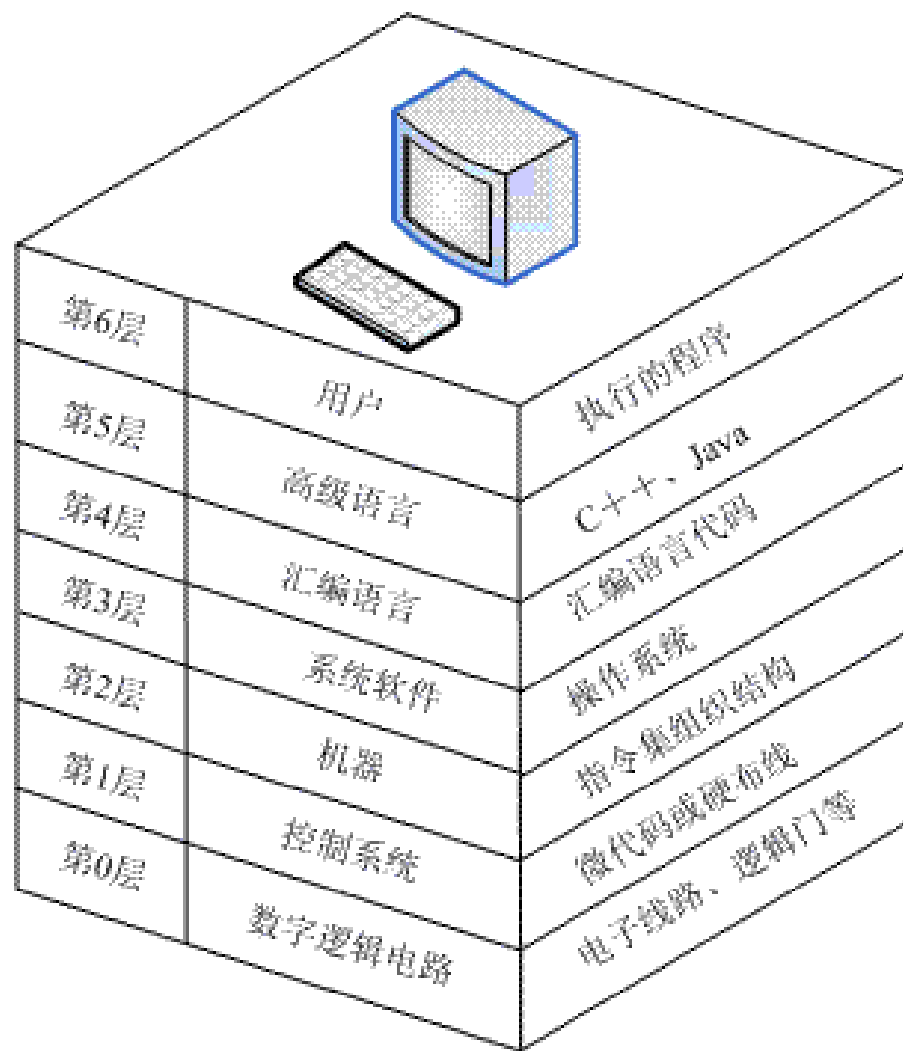


图1-17 计算机系统的分层组织结构

1.1.3 计算机组成和计算机体系结构



计算机
体系结构
computer
architecture

有无乘法指令

程序员所见到的计算机系统的属性
概念性的结构与功能特性

(指令系统、数据类型、寻址技术、I/O机理)

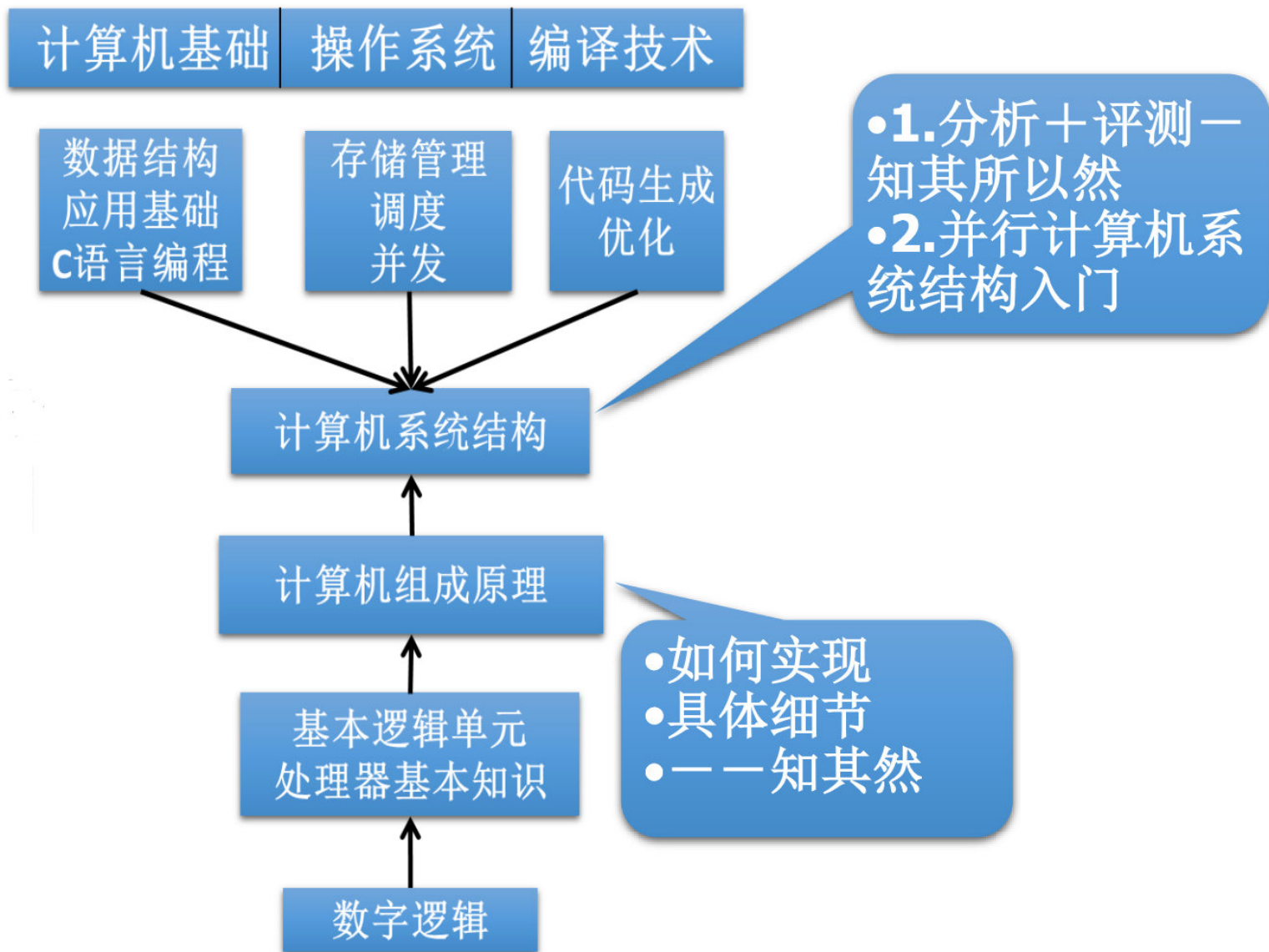
计算机
组成
Computer
organization

实现计算机体系结构所体现的属性

(具体指令的实现)

如何实现乘法指令

1.1.3 计算机组成和计算机体系结构



1.2 计算机的基本组成



冯·诺依曼简介

- 被西方人誉为“计算机之父”。
- 1945年3月他在共同讨论的基础上起草了“存储程序通用电子计算机方案”--EDVAC（Electronic Discrete Variable Automatic Computer）。这对后来计算机的设计有决定性的影响，特别是确定计算机的结构，采用存储程序以及二进制编码等，至今仍为电子计算机设计者所遵循。
- 是20世纪最重要的数学家之一，因其在现代计算机、数值分析和博弈论等领域的重大贡献成为美国科学院院士。



1.2 计算机的基本组成



一、冯·诺依曼计算机的工作原理

存储程序+程序控制

存储程序：将程序存放在计算机的存储器中；



（存储系统构建与快速访问）

程序控制：按指令地址访问存储器并取出指令，经译码依次产生指令执行所需的控制信号，实现对计算的控制，完成指令的功能。



（指令系统、控制器设计等）

1.2 计算机的基本组成



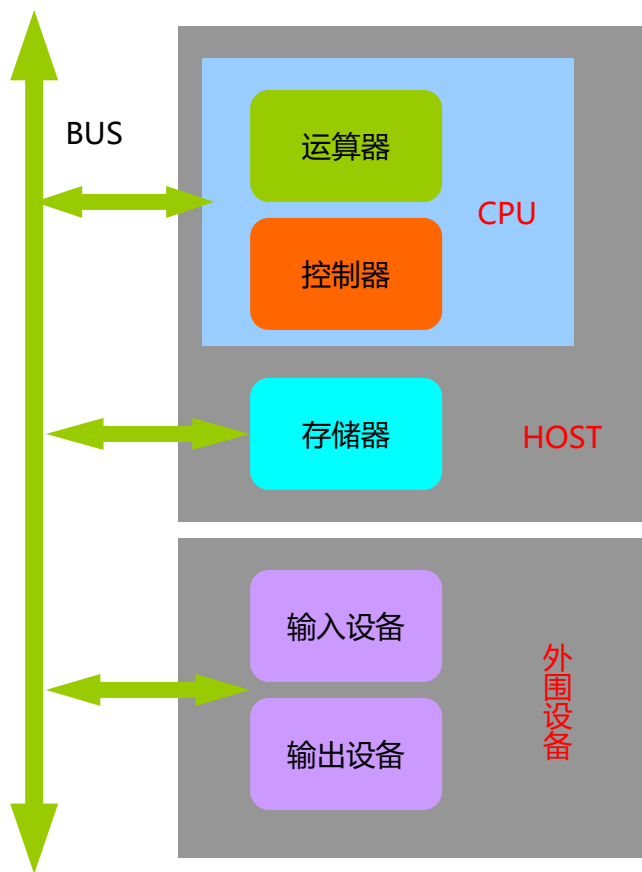
二、冯·诺依曼计算机的特点

1. 计算机应由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备五个基本部件组成。
2. 指令和数据以同等地位存放在存储器中，按地址寻访。
3. 指令和数据用**二进制**表示。
4. 指令由操作码和地址码组成。
操作码指出操作类型，地址码指出操作数的地址。由一串指令组成程序。
5. 存储程序：指令在存储器中按顺序存放。通常，指令按顺序执行，但可按运算结果或外界条件改变执行顺序。计算机能在不需操作人员干预下，自动完成逐条取出指令和执行指令的任务。
6. 以运算器为中心

冯·诺依曼计算机硬件框图



❖ 存储程序、程序控制、计算机五大功能部件

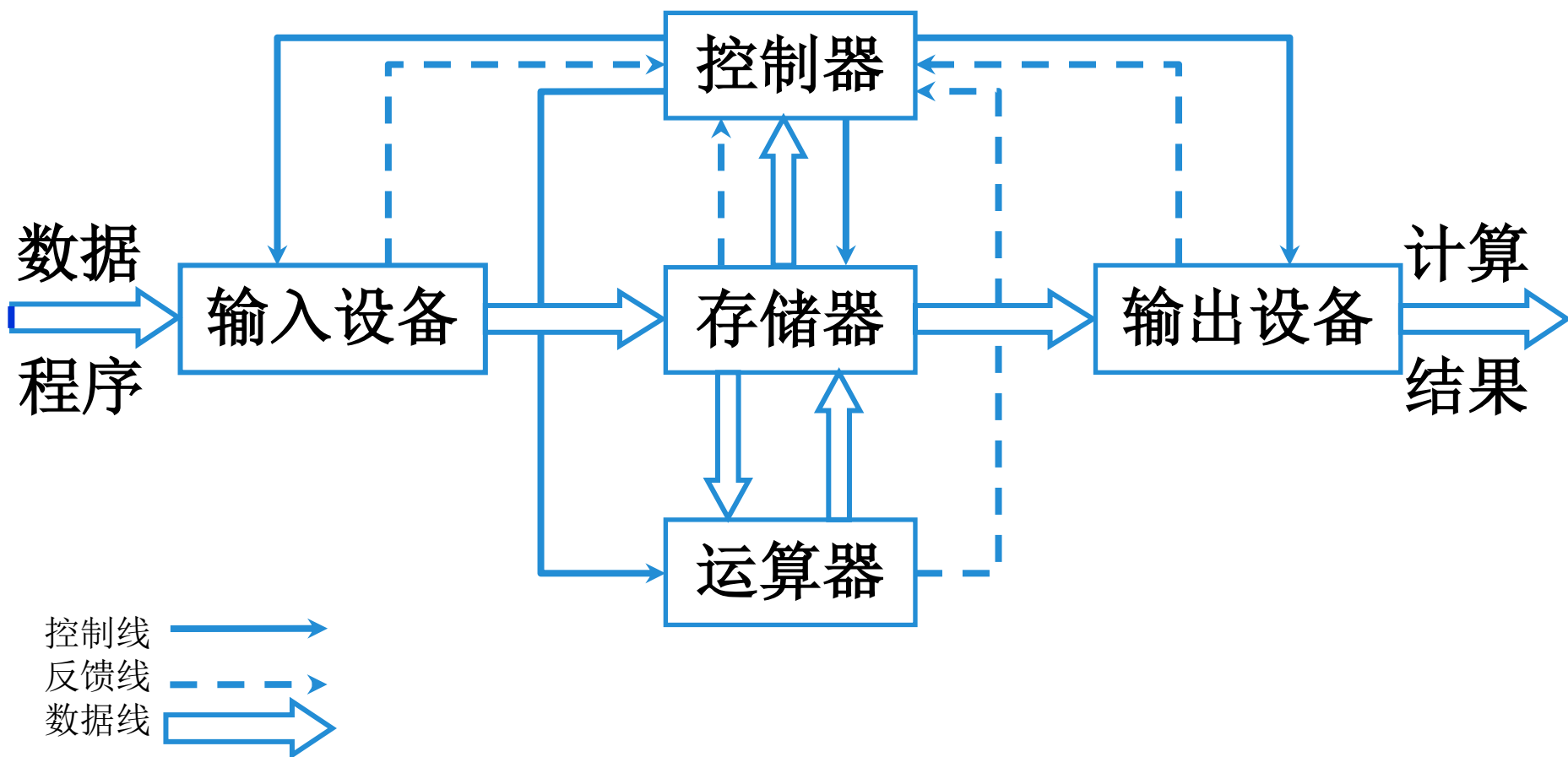


- 运算器完成算术运算，逻辑运算
- 控制器控制指令的执行，根据指令功能给出实现指令功能所需的控制信号
- 主存储器存放程序及数据
- 输入设备、输出设备
- 总线（地址总线，数据总线，控制总线）

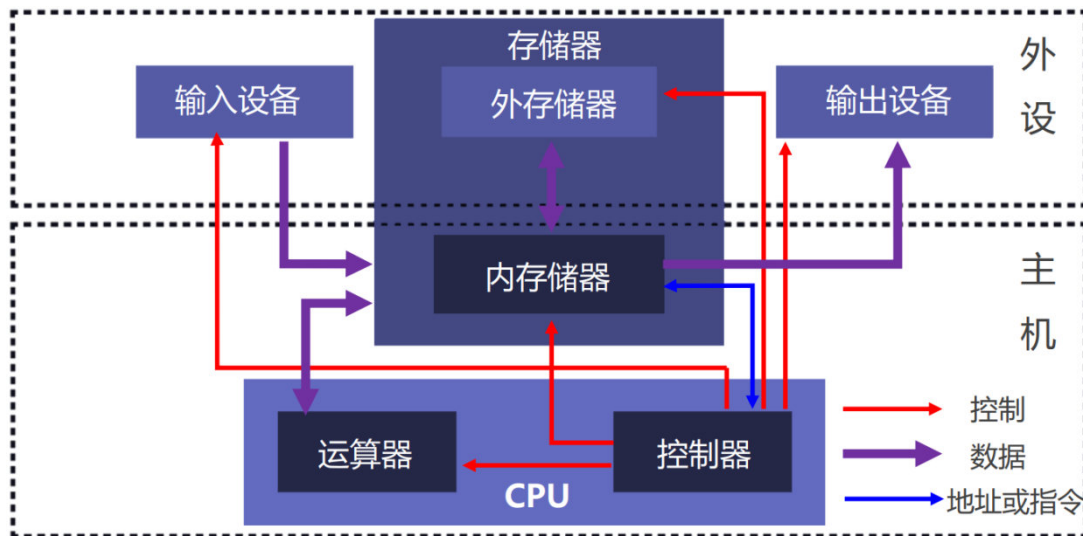
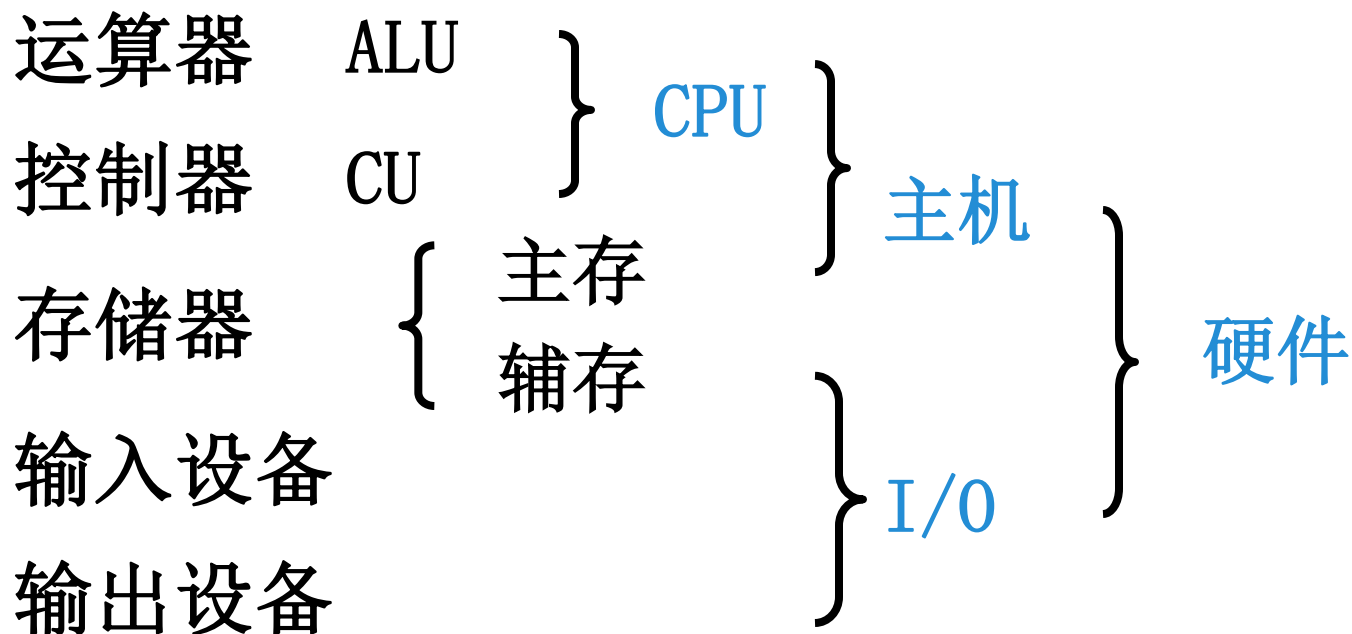
三、计算机硬件框图



1. 以存储器为中心的计算机硬件框图(现代)



2. 现代计算机硬件框图

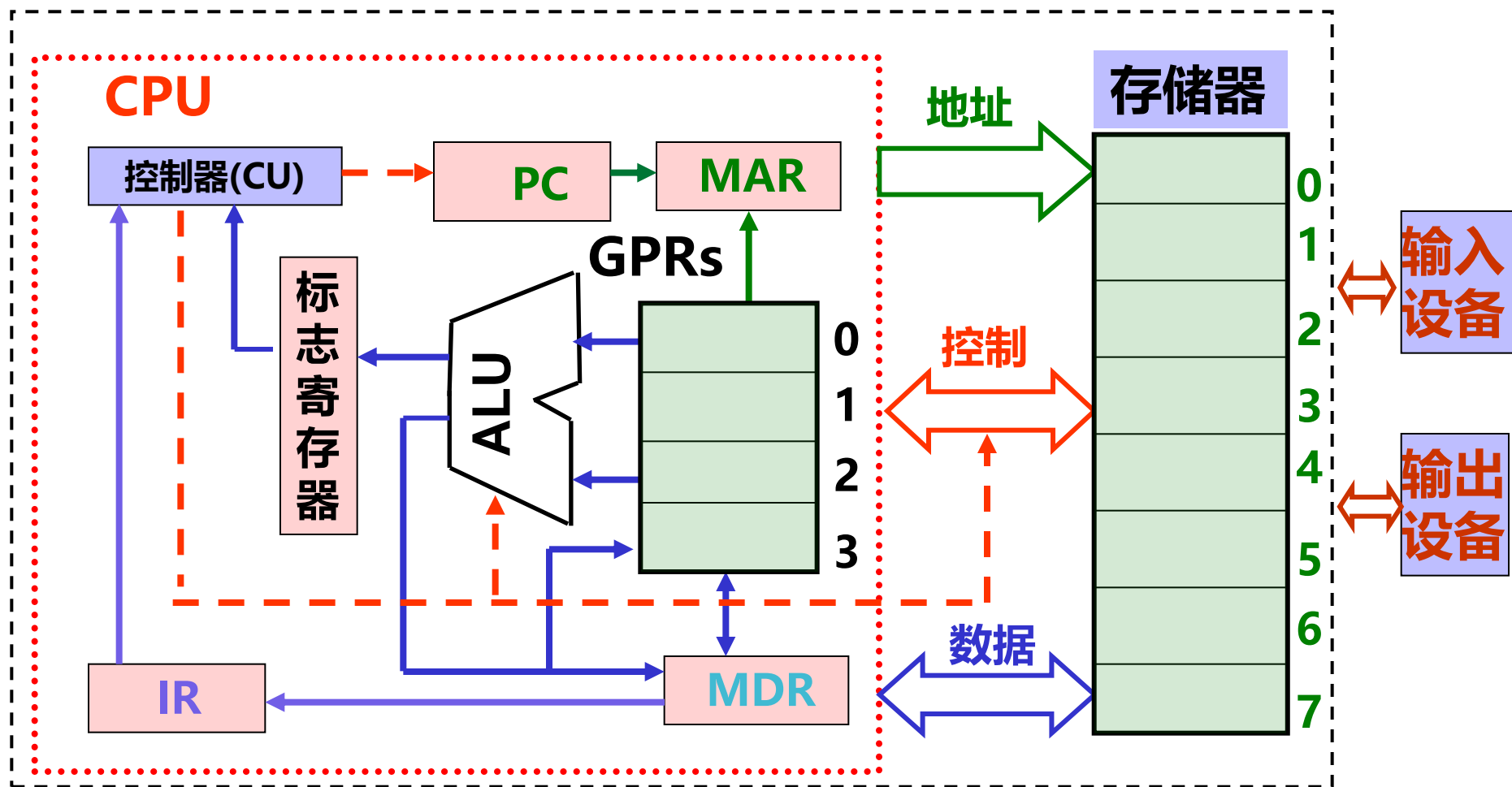


主机：CPU（运算器 + 控制器）、内存

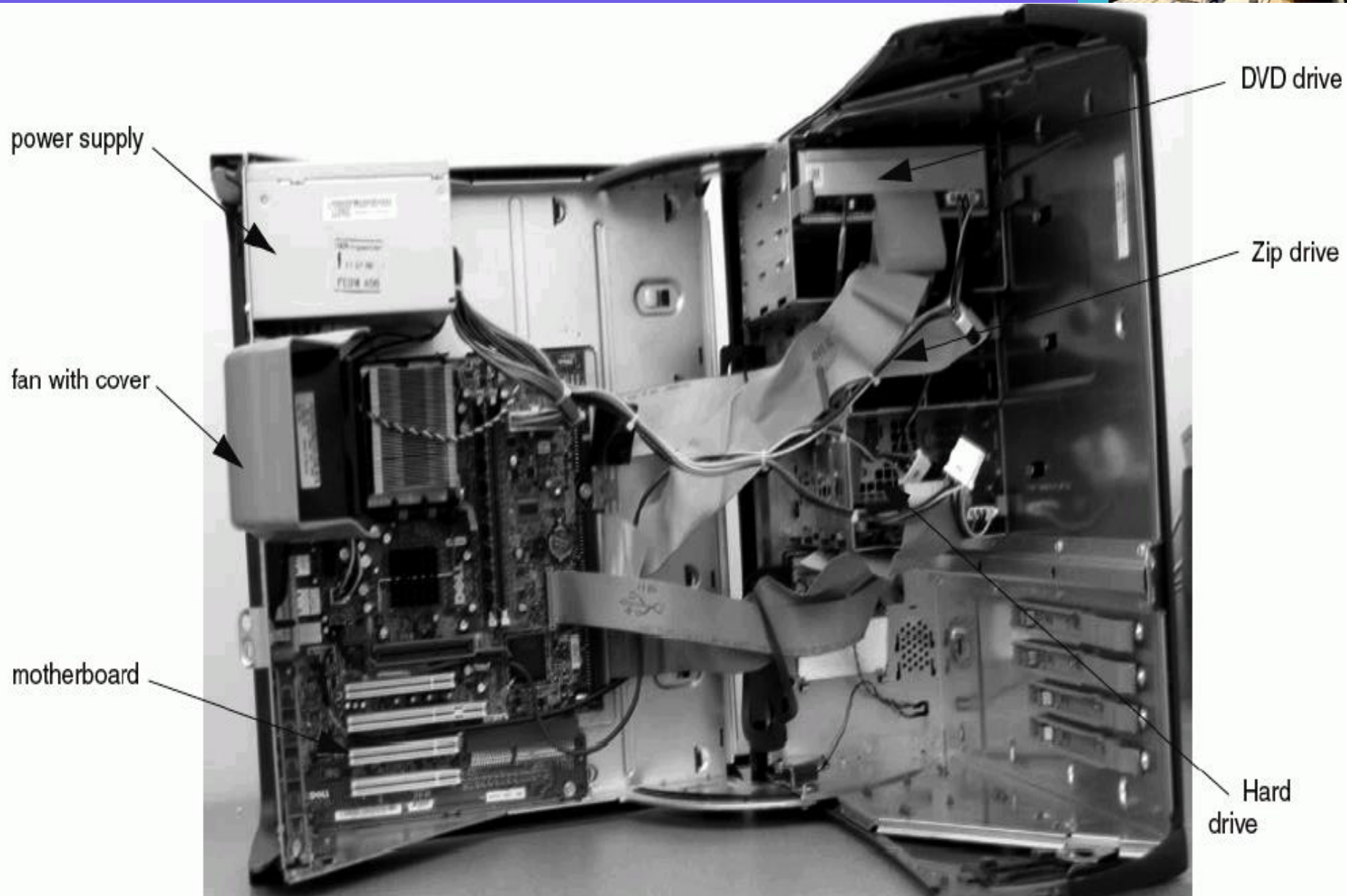
外设：输入设备、输出设备、外存储器

总线：地址线、数据线、控制线

现代计算机结构模型



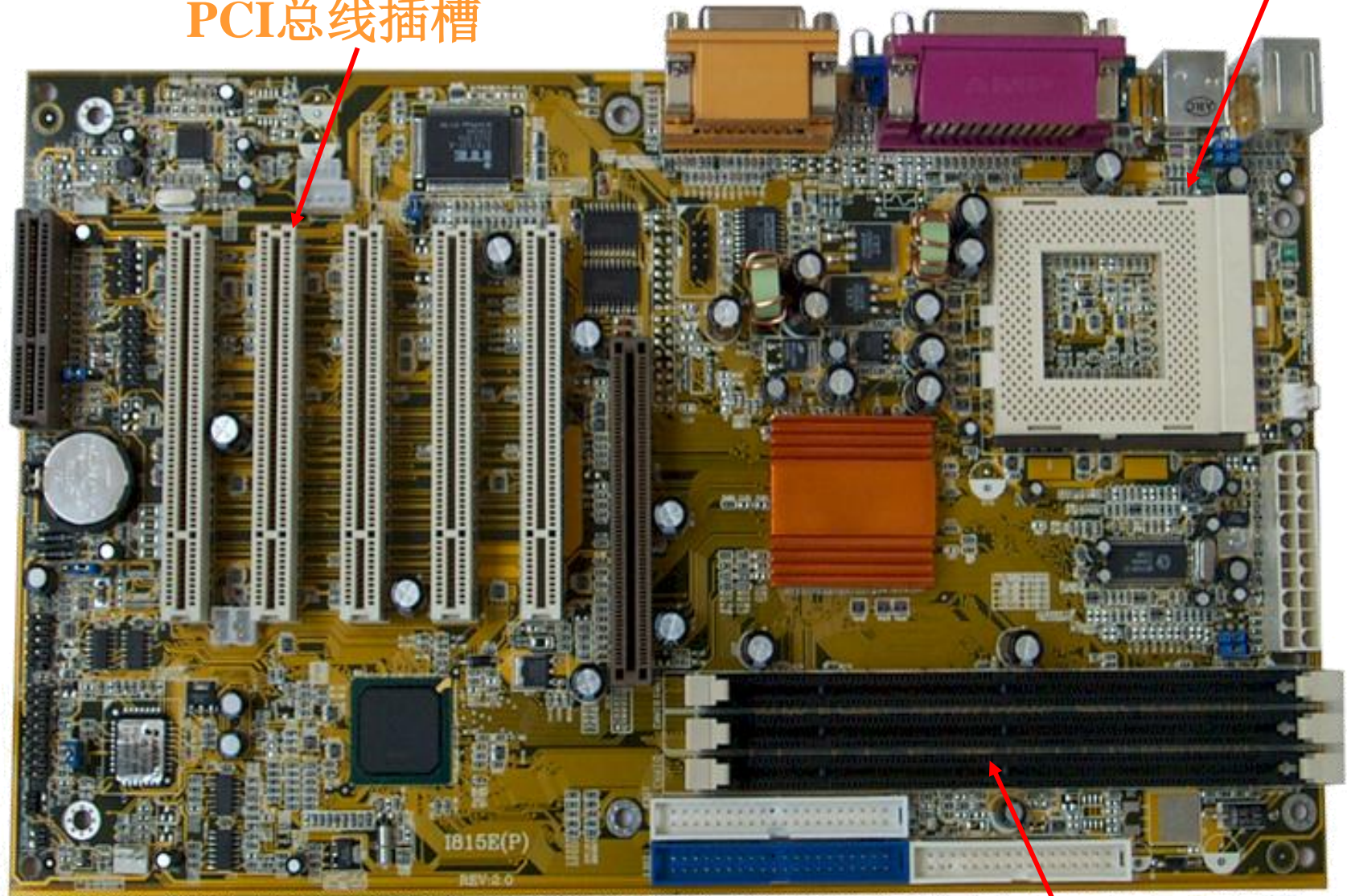
计算机硬件：打开计算机来看看



PC主板

CPU插座

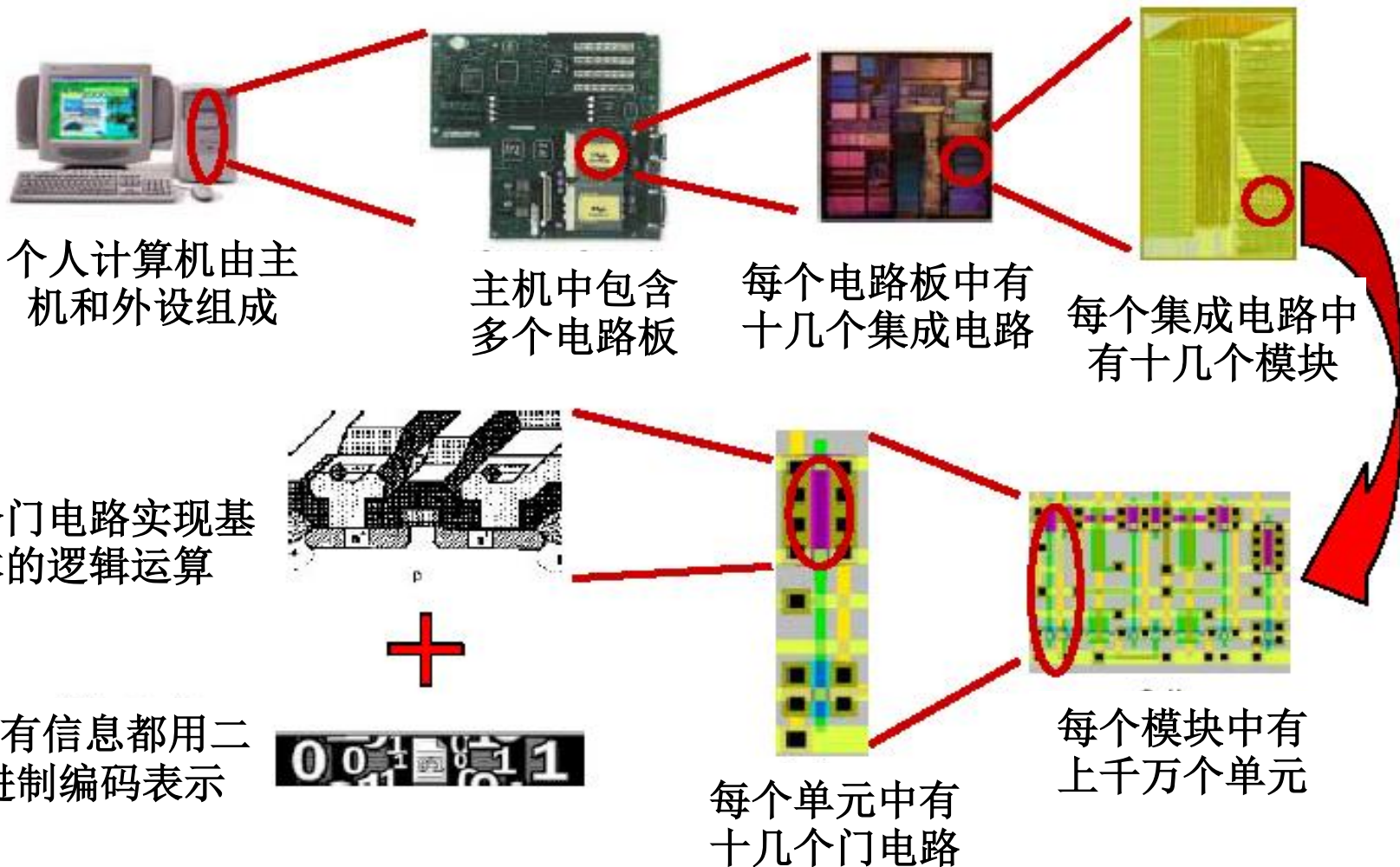
PCI总线插槽



内存条

解剖一台计算机

How do you build systems with >1G components?



冯·诺依曼机工作方式的基本特点是_____。

- ☐ A 多指令单数据流
- ☒ B 按地址访问并顺序执行程序
- ☐ C 堆栈操作
- ☐ D 存储器按内容选择地址

提交

1.2.3 计算机的工作步骤



- ❖ **问题：如何用计算机来解决现实中的问题？**
- ❖ **问题：是不是所有的问题都能通过计算机解决？**
- ❖ **面对可以解决的问题，如何用计算机处理？**

1.2.3 计算机的工作步骤



1.上机前的准备

- 建立数学模型 $e = E_m \sin \omega t$

- 确定计算方法

$$\sin x = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} + \frac{x^9}{9!} - \dots$$

$$\sqrt{x} = \frac{1}{2} \left(y_n + \frac{x}{y_n} \right) \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$$

- 编制解题程序

程序 — 运算的 **全部步骤**

指令 — 每 **一个步骤**

编程举例



$$\text{计算 } ax^2 + bx + c = (ax + b)x + c$$

取 x 至运算器中

乘以 x 在运算器中

乘以 a 在运算器中

存 ax^2 在存储器中

取 b 至运算器中

乘以 x 在运算器中

加 ax^2 在运算器中

加 c 在运算器中

取 x 至运算器中

乘以 a 在运算器中

加 b 在运算器中

乘以 x 在运算器中

加 c 在运算器中

指令格式举例



操作码	地址码
-----	-----

取数

α

$[\alpha] \rightarrow \text{ACC}$

000001

0000001000

存数

β

$[\text{ACC}] \rightarrow \beta$

加

γ

$[\text{ACC}] + [\gamma] \rightarrow \text{ACC}$

乘

δ

$[\text{ACC}] \times [\delta] \rightarrow \text{ACC}$

打印

δ

$[\delta] \rightarrow \text{打印机}$

停机

计算 $ax^2 + bx + c$ 程序清单



指令和数据 存于主存单 元的地址	指令		注释
	操作码	地址码	
0	000001	0000001000	取数 x 至ACC
1	000100	0000001001	乘 a 得 ax 存于ACC中
2	000011	0000001010	加 b 得 $ax+b$,存于ACC中
3	000100	0000001000	乘 x 得 $(ax+b)x$,存于ACC中
4	000011	0000001011	加 c 得 $ax^2 + bx + c$,存于ACC
5	000010	0000001100	将 $ax^2 + bx + c$ 存于主存单元
6	000101	0000001100	打印
7	000110		停机
8	x		原始数据 x
9	a		原始数据 a
10	b		原始数据 b
11	c		原始数据 c
12			存放结果

2. 计算机的解题过程



(1) 存储器的基本组成



存储体 – 存储单元 – 存储元件 (0/1)

[教学楼 – 教室 – 座位 (无人/有人)]

存储单元 存放一串二进制代码

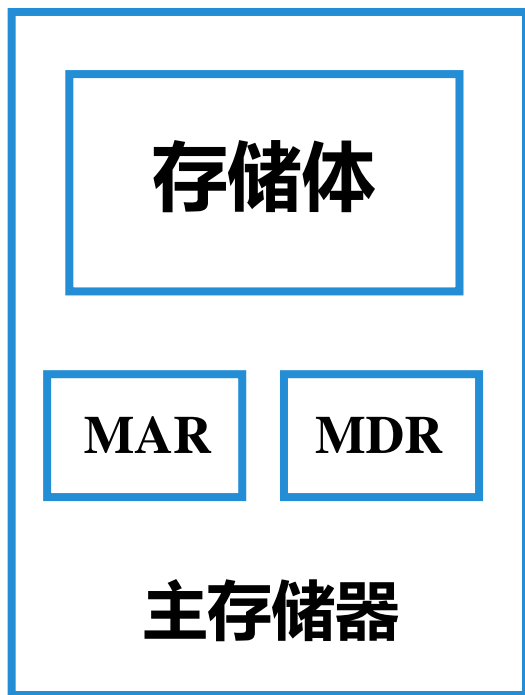
存储字 存储单元中二进制代码的组合

存储字长 存储单元中二进制代码的位数

每个存储单元赋予一个地址号

按地址寻访

(2) 存储器的基本组成



MAR 存储器地址寄存器
反映存储单元的个数

MDR 存储器数据寄存器
反映存储字长

设 MAR = 5 位

MDR = 16 位

存储单元个数 $32 = 2^5$

存储字长 16

总存储量 = $32 * 16$ 位

存储单元是指_____。

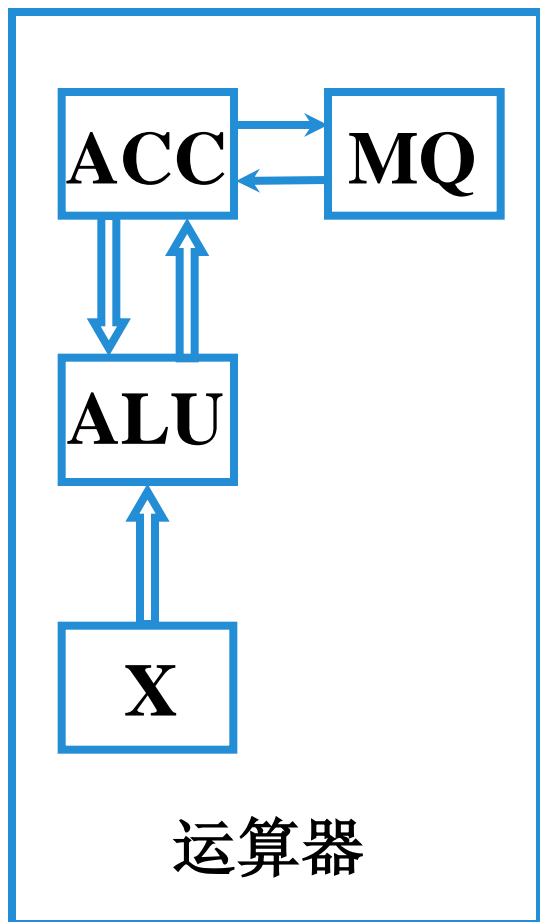
- ☐ A 存放一个字节的存储元的集合
- ☒ B 存放一个存储字的存储元的集合
- ☐ C 存放一个二进制信息位的存储元
- ☐ D 存放一条指令的存储元集合

提交

(2) 运算器的基本组成及操作过程



(2) 运算器的基本组成及操作过程



算术运算

加、减、乘、
除法等

逻辑运算

与、或、非、
移位等

基本结构

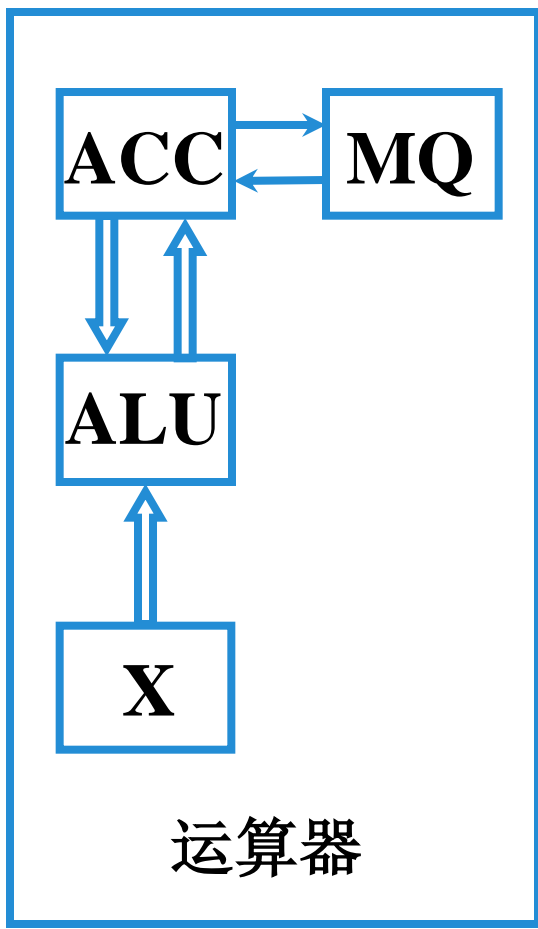
ALU
(Arithmetic
Logical
Unit)、寄存
器、连接通路

◆ 注重功能与结构的关系？ -- 指令、数据类型、性能要求等等

(2)运算器的基本组成及操作过程



(2) 运算器的基本组成及操作过程

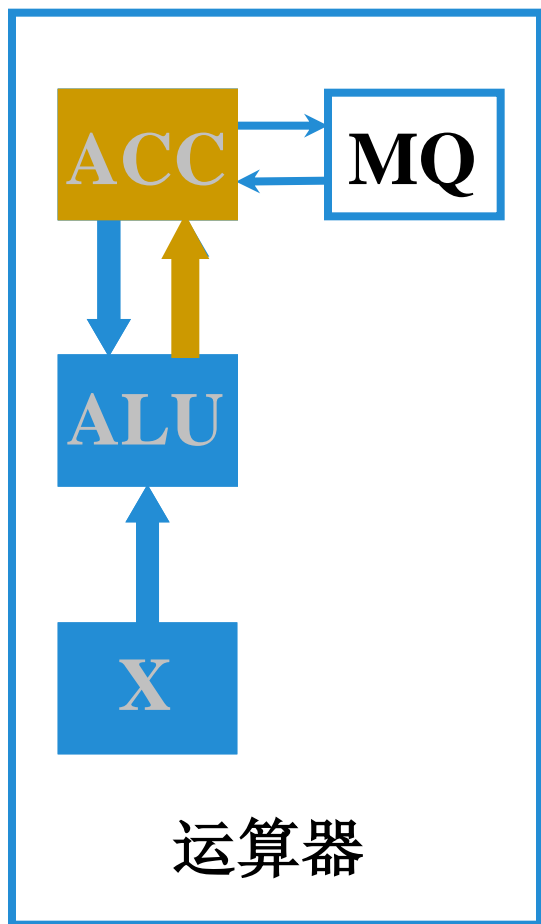


	ACC	MQ	X
加法	被加数 和		加数
减法	被减数 差		减数
乘法	乘积高位	乘数 乘积低位	被乘数
除法	被除数 余数	商	除数

(2) 运算器的基本组成及操作过程



① 加法操作过程



指令

加

M

初态

ACC

被加数

[M]

→

X

[ACC] + [X]

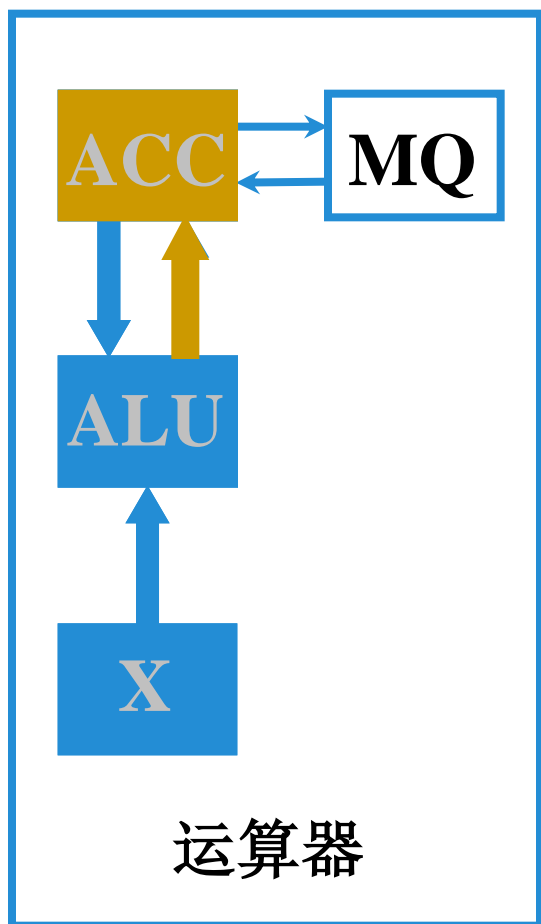
→

ACC

(2) 运算器的基本组成及操作过程



② 减法操作过程



指令

减

M

初态

ACC

被减数

[M]

→

X

[ACC] - [X]

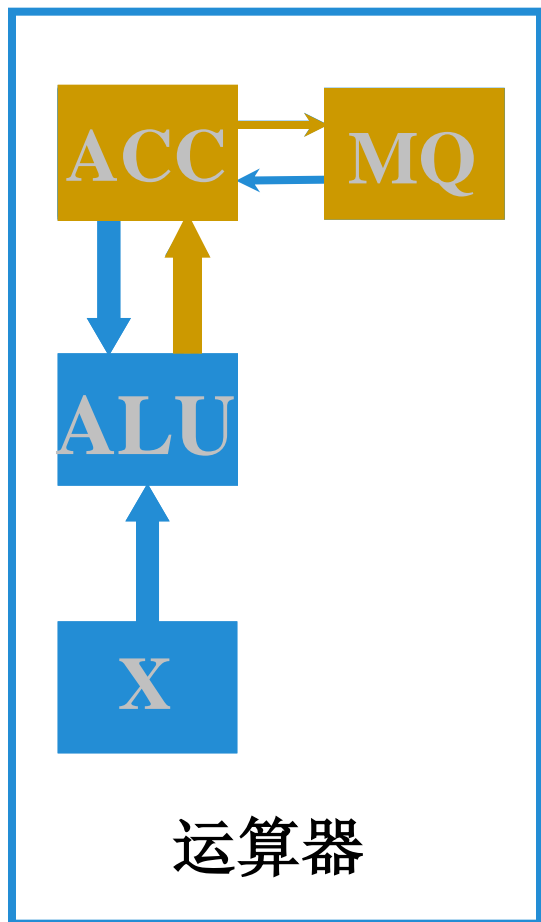
→

ACC

(2) 运算器的基本组成及操作过程



③ 乘法操作过程

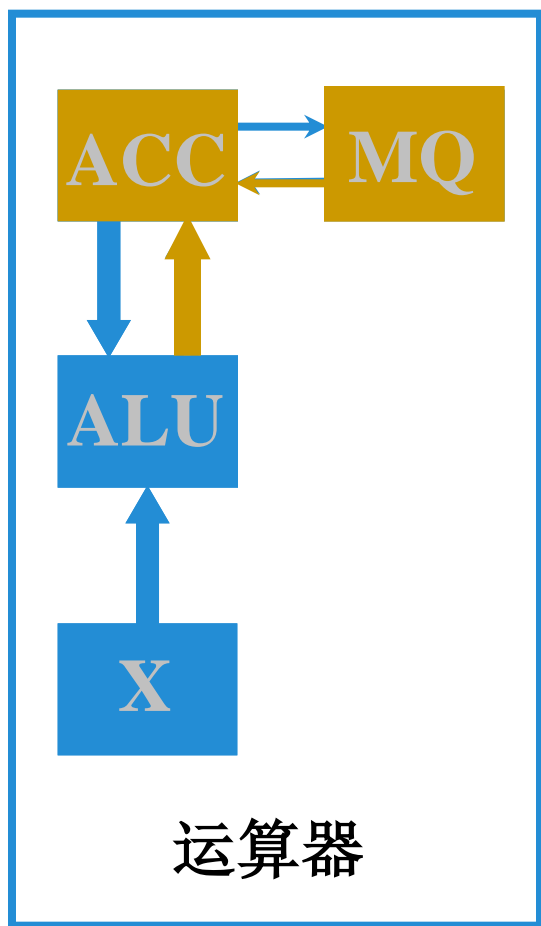


指令	乘	M
初态	ACC	被乘数
	$[M] \longrightarrow$	MQ
	$[ACC] \longrightarrow$	X
	$0 \longrightarrow$	ACC
	$[X] \times [MQ] \longrightarrow$	ACC // MQ

(2) 运算器的基本组成及操作过程



④ 除法操作过程



指令

除

M

初态

ACC

被除数

$[M] \longrightarrow X$

$[ACC] \div [X] \longrightarrow MQ$

余数在ACC中

下列属于运算器的有____。（多选题）

☐ A MAR

☒ B ALU

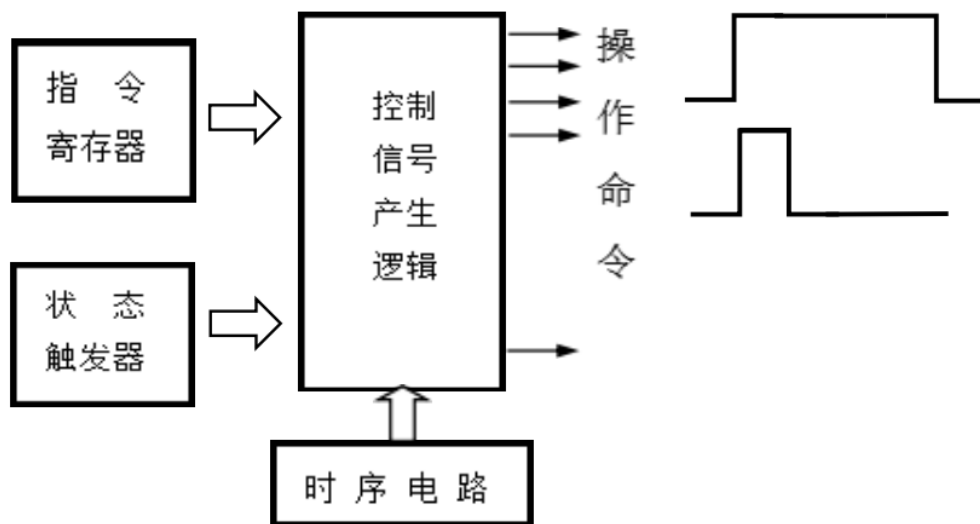
☒ C MQ

☐ D MDR

☒ E ACC

提交

(3)控制器的基本组成



基本功能

产生指令执行过程所需要的所有控制信号，控制相关功能部件执行相应操作；

控制信号的形式

电平信号、
脉冲信号；

产生控制信号的 依据

指令、状态、
时序；

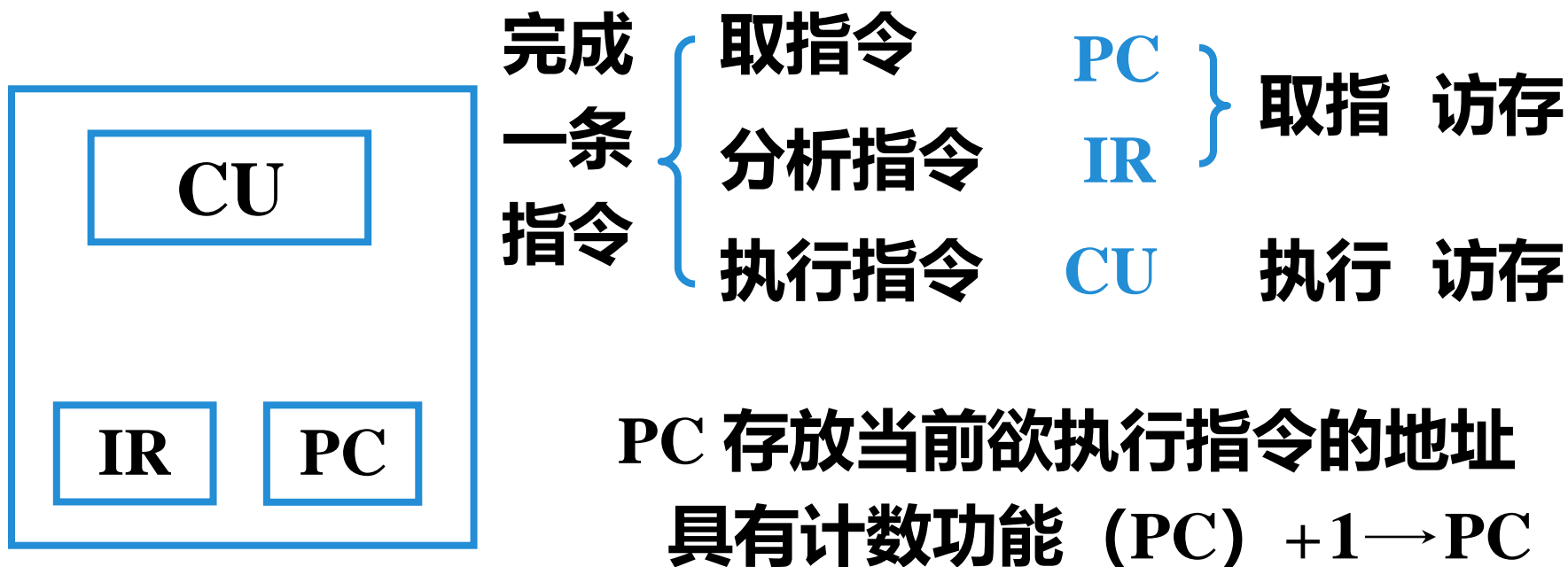
控制信号的产生 方式

微程序、
硬布线。

(3)控制器的基本组成



具体而言：

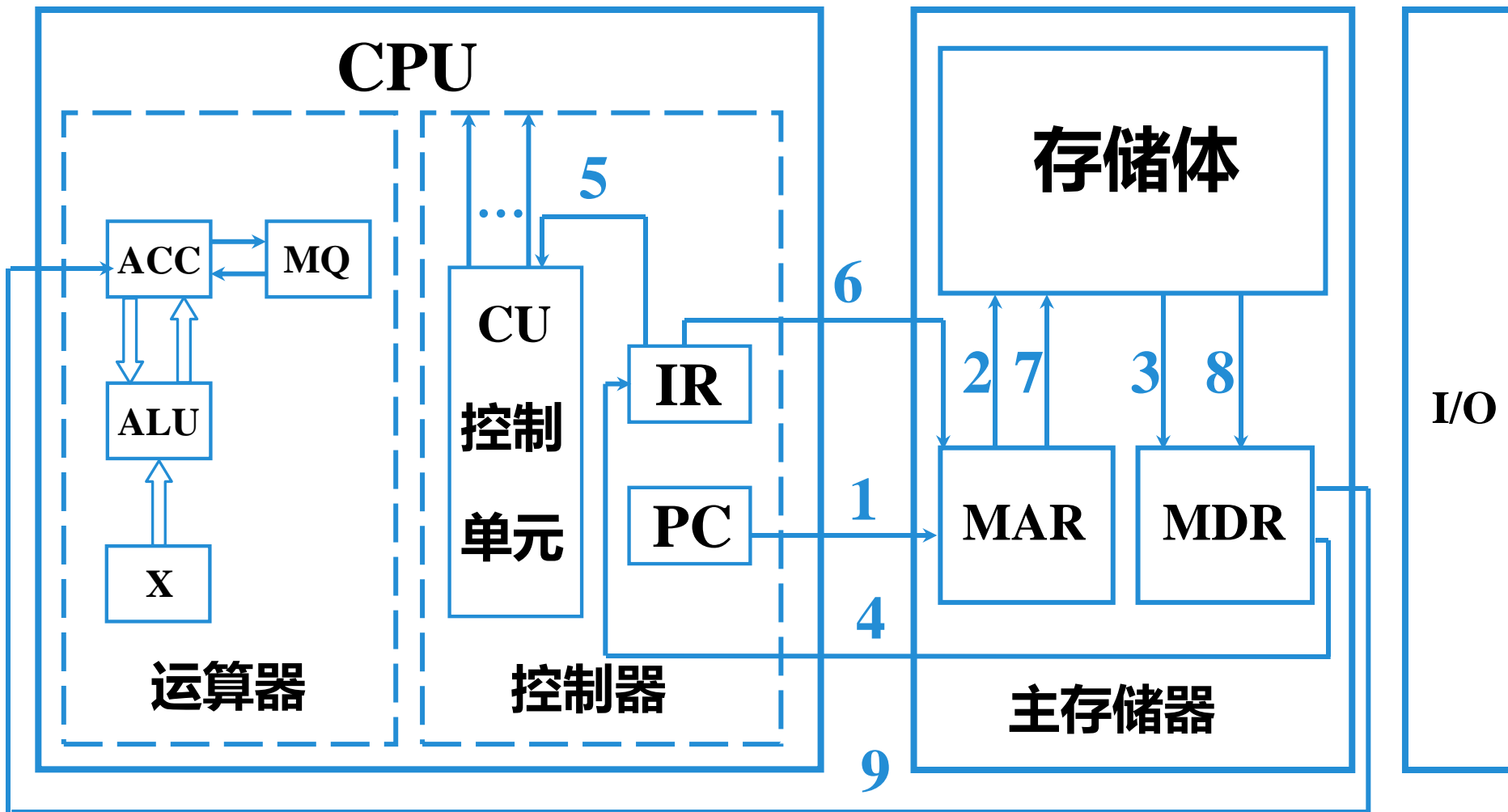


IR 存放当前欲执行的指令

(4)主机完成一条指令的过程



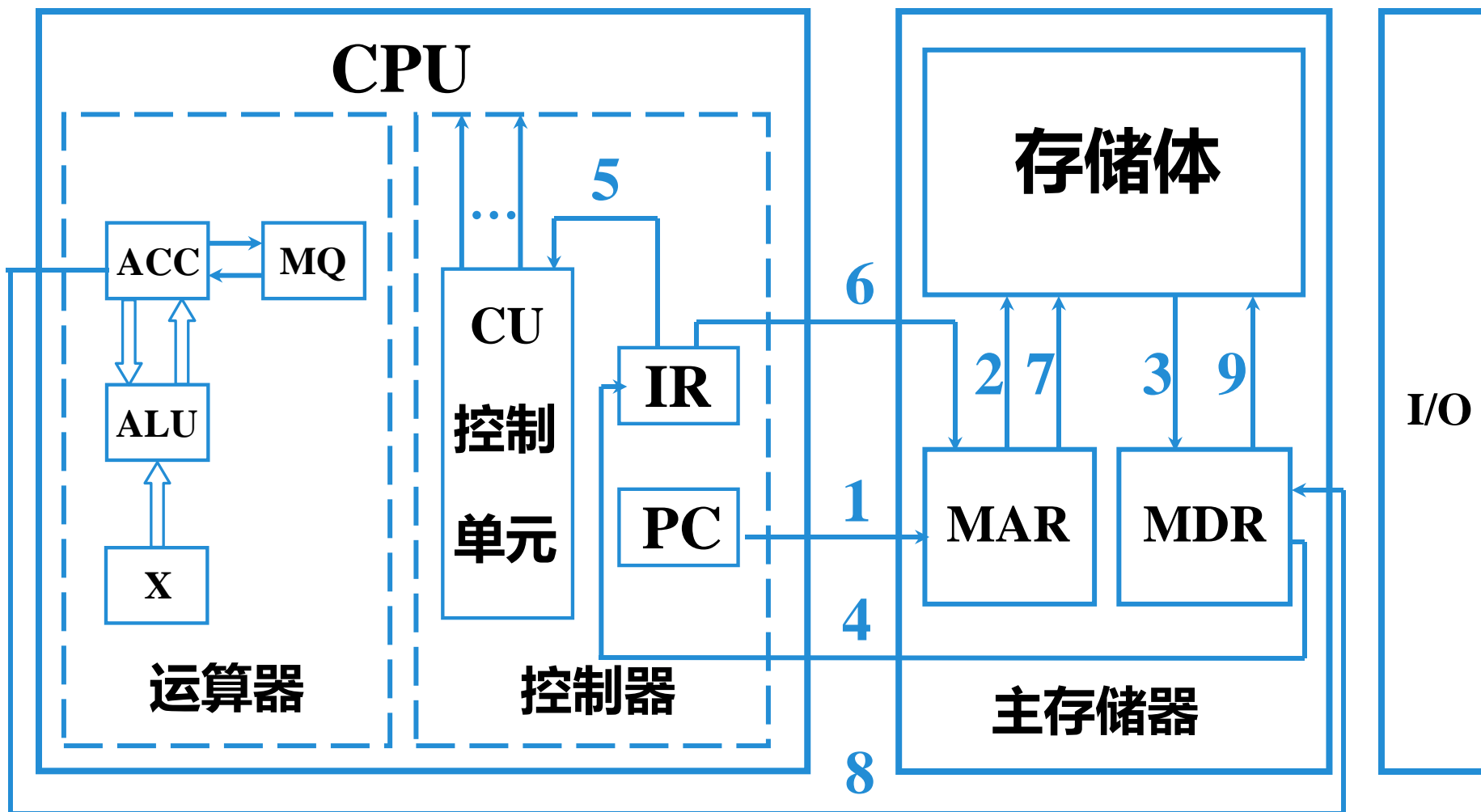
以取数指令为例



(4)主机完成一条指令的过程



以存数指令为例



(5) $ax^2 + bx + c$ 程序的运行过程



- 将程序通过输入设备送至计算机
- 程序首地址 \longrightarrow PC
- 启动程序运行
- 取指令 $PC \rightarrow MAR \rightarrow M \rightarrow MDR \rightarrow IR$, $(PC) + 1 \rightarrow PC$
- 分析指令 $OP(IR) \rightarrow CU$
- 执行指令 $Ad(IR) \rightarrow MAR \rightarrow M \rightarrow MDR \rightarrow ACC$
- \vdots
- 打印结果
- 停机

1.3 计算机系统性能评价



❖ 如何挑选一台计算机？

- 计算机用途
- 你的预算
 - 速度快，容量大

❖ 如何评价一台机器的性能？



1.3 计算机系统性能评价



❖ 非时间指标

- 机器字长
- 总线宽度
- 主存容量、存储带宽
- CPU内核数

❖ 时间指标

- 主频、周期、外频、倍频
- CPI、IPC
- MIPS、MFLOPS
- CPU执行时间

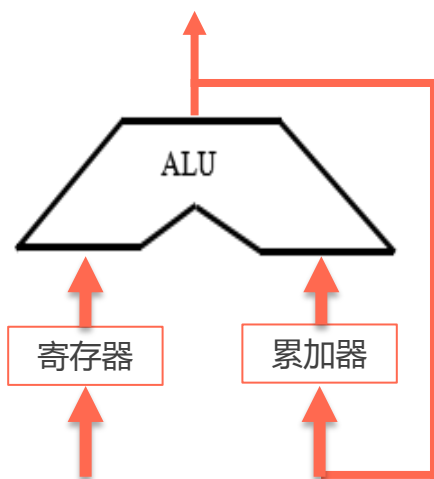


非时间指标



❖ 机器字长（非时间指标）

1) 机器字长：机器一次能处理的二进制位数

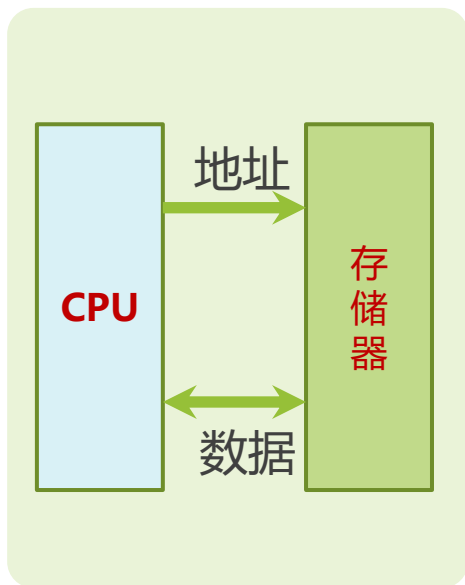


- ◆ 由运算器、寄存器的位数决定；
- ◆ 一般与内部寄存器的位数相等；
- ◆ 字长决定数据表示范围与精度；
- ◆ 目前常见的有32位和64位字长。



❖ 总线宽度

2)总线宽度：数据总线一次能并行传送的最大信息位数



- ◆ 运算器与存储器之间的数据总线位数。
- ◆ 有些计算机内部与外部数据总线宽度不一致：
- ◆ 8086、80286、80386内外数据总线等宽；
- ◆ Pentium外总线64位，内总线32位（两条32位流水线）



❖ 主存容量与存储带宽（非时间指标）

3) 主存容量与存储带宽

- ◆ **主存容量：**是指一台计算机主存所包含的存储单元总数。
- ◆ **存储带宽：**指单位时间内与主存交换的二进制信息量，单位Byte/s。
(影响存储带宽的指标包括数据位宽和数据传输速率)。

CPU时间（时间指标）



- ❖ 频率，时钟周期，外频，倍频
- ❖ **CPI (Clock cycles Per Instruction)**
 - ADD MOV DIV MUL 定点/浮点指令
- ❖ **IPC (Instructions Per Clock cycle)**
 - 强调并行
- ❖ **MIPS / MFLOPS**
- ❖ **CPU时间**



时间指标



❖ 主频 f

- CPU工作的时钟频率，与CPU运算能力之间不是唯一的、直接关系；

❖ 时钟周期 $T = 1/f$

- 计算机中最基本的、最小的时间单位。一个时钟周期CPU仅完成一个最基本的动作；

■ 外频

- 系统总线的工作频率，CPU与主板之间同步运行的速度，标准外频66MHz、100MHz、133MHz、200MHz、400MHz

■ 倍频

- 主频=外频 \times 倍频，Pentium 4 2.4G 主频 $2400M = 133M$ (外频) $\times 18$ (倍频)
- 调整倍频可以获得较高的主频，486后出现的技术，使得外设低频，CPU高频

CPU的主频，外频和总线频率



❖ 例如，如果有个主频标称为3.5GHz的处理器，那么电脑CPU倍频公式是这样的：

100MHz的外频乘以35的倍频等3500MHz，即3.5GHz。

这就是外频乘倍频的模式，目的就是为了让CPU在与电脑其他部分相匹配的同时，仍能以高主频运行。

处理器					
名字	Intel Core i7 9700K				
代号	Coffee Lake	TDP	95.0 W		
插槽	Socket 1151 LGA				
工艺	14 纳米	核心电压	0.773 V		
规格	Intel(R) Core(TM) i7-9700K CPU @ 3.60GHz (ES)				
系列	6	型号	E	步进	C
扩展系列	6	扩展型号	9E	修订	P0
指令集	MMX, SSE, SSE2, SSE3, SSSE3, SSE4.1, SSE4.2, EM64T, VT-x, AES, AVX, AVX2, FMA3, TSX				
时钟 (核心 #0)					
核心速度	4897.60 MHz				
倍频	x 49.0 (8 - 49)				
总线速度	99.95 MHz				
额定 FSB					
缓存					
一级 数据	8 x 32 KBytes		8-way		
一级 指令	8 x 32 KBytes		8-way		
二级	8 x 256 KBytes		4-way		
三级	12 MBytes		12-way		
已选择	处理器 #1		核心数	8	线程数

处理器 | 缓存 | 主板 | 内存 | SPD | 显卡 | 测试分数 | 关于 |

处理器

名字	Intel Core i7 9700K				
代号	Coffee Lake	TDP	95.0 W		
插槽	Socket 1151 LGA				
工艺	14 纳米	核心电压	1.296 V		
规格	Intel(R) Core(TM) i7-9700K CPU @ 3.60GHz (ES)				
系列	6	型号	E	步进	C
扩展系列	6	扩展型号	9E	修订	P0
指令集	MMX, SSE, SSE2, SSE3, SSSE3, SSE4.1, SSE4.2, EM64T, VT-x, AES, AVX, AVX2, FMA3, TSX				

时钟 (核心 #0)

核心速度	4997.55 MHz
倍频	x 50.0 (8 - 49)
总线速度	99.95 MHz
额定 FSB	

缓存

一级 数据	8 x 32 KBytes	8-way
一级 指令	8 x 32 KBytes	8-way
二级	8 x 256 KBytes	4-way
三级	12 MBytes	12-way

已选择 处理器 #1

核心数 8

处理器 #2

CPU-Z



CPU-Z

处理器 | 缓存 | 主板 | 内存 | SPD | 显卡 | 测试分数 | 关于

处理器

名字 Intel Core i5 3450S

代号 Ivy Bridge TDP 65.0 W

插槽 Socket 1155 LGA

工艺 22 纳米 核心电压 1.240 V

规格 Intel(R) Core(TM) i5-3340S CPU @ 2.80GHz

系列 6 型号 A 步进 9

扩展系列 6 扩展型号 3A 修订 E1/L1

指令集 MMX, SSE, SSE2, SSE3, SSSE3, SSE4.1, SSE4.2, EM64T, VT-x, AES, AVX

时钟 (核心 #0)

核心速度 2893.10 MHz

倍频 x 29.0 (16 - 33)

总线速度 99.83 MHz

额定 FSB

缓存

一级数据 4 x 32 KBytes 8-way

一级指令 4 x 32 KBytes 8-way

二级 4 x 256 KBytes 8-way

三级 6 MBytes 12-way

已选择 处理器 #1 核心数 1 线程数 4

CPU-Z Ver. 1.87.0.x32 工具 验证 确定

机器字长是指_____。

- ☐ A 存放在一个存储单元的二进制位数
- ☒ B 机器一次能处理的二进制位数
- ☐ C 存储单元的个数
- ☐ D 机器指令的位数

提交

CPI (Clock cycles Per Instruction)



❖ 执行一条指令（平均）需要的时钟周期数

- 单条指令CPI
- 一段程序中所有指令的CPI
- 指令系统CPI

$$\begin{aligned} \text{❖ } \text{CPI} &= \text{一段程序中所有指令的时钟周期数之和} / \text{指令条数} && // \text{统计} \\ &= \text{程序中各类指令的CPI} \times \text{程序中该类指令的比例} && // \text{加权} \end{aligned}$$

MIPS (Million Instructions Per Second)



❖ 表示每秒钟执行指令的条数（以百万条为单位）

$$\begin{aligned}\text{MIPS} &= \frac{\text{指令条数}}{\text{执行时间} \times 10^6} \\ &= \frac{\text{指令条数}}{(\text{所有指令CPU时钟周期数之和} / f) \times 10^6} \\ &= \frac{f}{\text{CPI} \times 10^6} = \text{IPC} * f\end{aligned}$$

$$\text{程序的执行时间 } T_e = \frac{\text{指令条数}}{\text{MIPS} \times 10^6}$$

例1-1



- ❖ 例1-1 假设一台计算机主频为1GHZ，在其上运行由 2×10^5 条指令组成的目标代码，程序主要由4类指令组成，他们所占的比例和各自的CPI如下表所示，求程序的CPI和MIPS。

指令类型	CPI	指令比例
算术和逻辑	1	60%
Load/Store	2	18%
转移	4	12%
Cache缺失访存	8	10%

解： $CPI = 1 \times 60\% + 2 \times 18\% + 4 \times 12\% + 8 \times 10\% = 2.24$

$MIPS = f / (CPI \times 10^6) = 1 \times 10^9 / (2.24 \times 10^6) = 446.4$

MFLOPS (Million Floating-Point Operations Per Second)



- ❖ 计算机每秒钟执行浮点操作的次数
- ❖ MIPS: 单位时间内执行的指令条数
- ❖ **MFLOPS** = 程序中的浮点运算次数 / (执行时间 $\times 10^6$)
- ❖ **MFLOPS** (*Mega*) = 10^6 **FLOPS** **GFLOPS** (*Giga*) = 10^9 **FLOPS**
- ❖ **TFLOPS** (*Tera*) = 10^{12} **FLOPS** **PFLOPS** (*Peta*) = 10^{15} **FLOPS**
- ❖ **EFLOPS** (*Exa*) = 10^{18} **FLOPS**

CPU执行



◆ 执行一段程序所需的时间

(CPU时间 + I/O时间 + 存储访问时间 + 各类排队时延等)

◆ CPU时间 = 程序中所有指令的时钟周期数之和 $\times T$

= 程序中所有指令的时钟周期数之和 / f

CPU 时间 = CPI \times 指令条数 \times 时钟周期

CPU 时间 = 指令条数 / (MIPS $\times 10^6$)

例1-2



- ❖ 例1-2 假设一台计算机主频为1GHZ，在其上运行由 2×10^5 条指令组成的目标代码，程序主要由4类指令组成，他们所占的比例和各自的CPI如下表所示，求程序的CPI和MIPS，求程序执行时间？

指令类型	CPI	指令混合比例
算术和逻辑	1	60%
Load/Store	2	18%
转移	4	12%
Cache缺失访存	8	10%

$$\text{CPI} = 2.24$$

$$\text{MIPS} = 446.4$$

解： $\text{CPU时间} = 2 \times 10^5 \times \text{CPI} / f = (2 \times 10^5 \times 2.24 / 10^9) = 4.48 \times 10^{-4} \text{ (秒)}$

$$\text{CPU时间} = \text{指令条数} / \text{MIPS} \times 10^6 = 2 \times 10^5 / 446.44 \times 10^6$$

时间指标的应用思考



- ❖ 计算机性能指标是确定的吗？
- ❖ 如何合理利用时间指标评测计算机性能？

f 、CPI、MIPS、CPU时间在评价计算机性能方面的特点和不足？



如何科学合理测试计算机系统的综合性能？有哪些常用测试工具？测试结果能否真实反映计算机的实际性能？



关键时间指标



- ❖ 实际上**频率**和**IPC**真正决定**CPU**性能
- ❖ **CPU性能=IPC × 频率 (MHz时钟速度)**
 - 由英特尔提出并被业界广泛认可
- ❖ 主频为**800MHz**的**安腾处理器** & **1800MHz**的**奔腾4处理器**
 - 企业服务器与台式机CPU



时间指标的应用思考



❖ 计算机性能指标是确定的吗？

硬件或软件指标	如何影响	影响什么
算法	影响指令数量和指令类型	CPI、MIPS、CPU时间
编程语言	影响指令数量和指令类型	CPI、MIPS、CPU时间
编译程序	影响指令数量和指令类型	CPI、MIPS、CPU时间
指令集体系结构	全面影响	f/T CPI MIPS CPU时间

计算机性能测试



❖ 性能测试原理

- 计算机中配置了大量传感器和状态寄存器
- 通过读取相应寄存器的值得到系统运行的状况
- 通过实际运行测试关键指标获取性能数据

❖ 性能测试工具分类

- CPU测试工具
- 显卡测试工具
- 磁盘测试工具
- 内存测试工具



CPU测试工具



- ◆ **CPUmark** : 综合**CPU**测试, 包括系统存储, 浮点运算和逻辑运算;
;
- ◆ **SysID** : 测试**CPU**电压, 运行频率, **L1** 、 **L2 Cache**等参数;
- ◆ **Hot CPU Tester** :可测试机器稳定性, 尤其是超频后的稳定性, 找出 **CPU** 的最高超频点或缺陷, 还可检测**CPU**的详细性能指标并给出量化的分数值。包括「复杂矩阵」「排序算法」「快速傅立叶变换」「**CPU** 缓存」「内存」「硬盘」及指令集等。另外其**CPU/Mem Burn-in**) 还可以作为新购机时的烤机软件来使用。



显卡测试工具



- ◆ **3DMark:** 除衡量显卡性能外，已渐渐转变成一款衡量整机性能的软件；已发行**3Dmark99**、**3Dmark 11**和**The new 3DMark**等近**10**个版本；
- ◆ **N-Bench2:** 重点测试**CPU**以及系统图形性能；
- ◆ **FurMark:** 通过皮毛渲染算法来衡量显卡的性能及其稳定性，提供了全屏/窗口、预定分辨率、基于时间或帧的测试、多种多重采样反锯齿、竞赛等多种模式。



内存测试工具



- ◆ **CTSPD** :选择主板厂商及型号后可详细测试内存的信息，包括:**CAS latency** (列地址选通时延)、**RAS to CAS delay**(RAS到CAS的相对延迟时间)、**RAS precharge Trp** (RAS预充电时间)、**DIMM**内存生产厂商和**DIMM**编号等信息。
- ◆ **Memory Speed**: 通过读写不同大小的块状数据来测试内存的性能；
- ◆ **Memory Transfer Timing Utility** :通过对源内存和目标内存进行校正和非校正复制，测试内存的读、写速



综合测试工具



卡硬工具箱 V2.93 EX-DIY | www.kbtool.cn

卡硬工具箱 —— kbtool.cn

您的配置概要: [截屏分享](#) [复制信息](#)

操作系统: Microsoft Windows 10 专业版 (BUILD:16299) (64 位)

CPU信息: Intel(R) Core(TM) i5-3340S CPU @ 2.80GHz
步进: 9 型号: A 系列: 6 扩展型号: 3A 扩展系列: 6

主板信息: Dell (戴尔) 09JR1D

内存信息: 8.0 GB (4.0 GB / 4.0 GB /)

显卡信息: AMD Radeon HD 7650A
Intel(R) HD Graphics

硬盘信息: PLEXTOR PX-256M6S (256.0 GB)
Hitachi HTS723232L9A360 (320.0 GB)

网卡信息: Qualcomm Atheros AR8161 PCI-E Gigabit Ethernet
Controller (NDIS 6.30) (以太网)
Bluetooth Device (Personal Area Network) (蓝牙网络连接)
WAN Miniport (IP)
WAN Miniport (IPv6)
WAN Miniport (Network Monitor)

声卡信息: Realtek High Definition Audio

显示设备: 戴尔 Dell INSPIRONONE [DEL123] 23.1英寸

实时信息(beta):
CPU0-主频: 2893.22Mhz 温度: 66度 FSB: 99.77Mhz
GPU0-主频: 0Mhz 温度: 0度 风扇: 0转/分

软件版本: 检测版本信息失败

BIOS

BIOS工具

CPU

CPU检测

超频工具

性能测试

内存工具

显卡检测

显示器工具

硬盘工具

综合检测

电池检测

激活工具

其他工具

计算机性能测试 Benchmark



❖ 用基准程序来评测计算机的性能

- 专门用来进行性能评价的一组程序,运行实际负载来反映性能
- 最好的基准程序是用户实际使用的程序或典型的简单程序

❖ 基准程序的缺陷

- 基准程序性能与某段短代码密切相关时, 会被利用以得到不当的性能评测结果, 硬件系统设计人员或编译器开发者针对这些代码片段进行特殊的优化, 使得执行这段代码的速度非常快
 - Intel Pentium处理器运行SPECint时用了公司内部使用的特殊编译器, 使其性能极高
 - 矩阵乘法程序SPECmatrix300有99%的时间运行在一行语句上, 有些厂商用特殊编译器优化该语句, 使性能达VAX11/780的729.8倍!

性能测试程序



❖ 计算机综合测试程序

- SPEC

❖ 定点运算性能测试

- Dhrystone 测试编译器和CPU定线运算性能 C语言编写

❖ 浮点运算性能测试

- LinPack 求解密集线性代数方程组程序包
- Whetstone 浮点+定点 Fortran编写

❖ 数据库性能测试

- TPC TPC不给出基准程序的代码，而只给出基准程序的标准规范
- 测试者可以根据规范，最优地构造出自己的测试系统(测试平台和测试程序)

❖ 并行运算测试 **NPB**

Computer Organization

自主可控任重而道远



计算机组成原理

